

ЗА НАУКУ

ВЫХОДИТ С 1958 ГОДА

SAPERE AUDE

150

период химии



От редакции

Самым сложным предметом в школе, а может, даже самым нелюбимым вам, скорее всего, назовут химию. А у кого она не вызвала в свое время вопросов? Предлагаем разобраться, что же это за наука.

Тем более что человек, открывший самый важный закон не только для химии, а даже в целом для науки, — наш с вами соотечественник Дмитрий Иванович Менделеев. Когда мы спрашивали ученых, какое еще открытие, сопоставимое с Периодическим законом, они могли бы назвать, нам в большинстве случаев затруднялись ответить. Ведь действительно, таблица Менделеева уникальна. Дмитрию Ивановичу удалось не только вывести общую закономерность для элементов, известных к 1869 году (а их было почти в два раза меньше, чем сегодня!), но и предсказать, какими свойствами будут обладать элементы, еще неизвестные науке.

В этом выпуске мы проследим историю развития таблицы, выясним, есть ли у нее конец, уделим внимание месту химии в ряду естественных наук, а также заглянем в несколько лабораторий, чтобы показать вам — современная химия уже далеко не та, что вы учили в школе.

Содержание



15

№1 (1956) 2019 год

Главный редактор

Анна Дзарахохова

Научный редактор

Татьяна Небольсина

Дизайн и верстка

Эмма Бурляева,
Елена Хавина

Фотограф

Евгений Пелевин

Корреспонденты

Лилия Артемьева,
Елизавета Архипова,
Александра Борисова,
Николай Горькавый,
Екатерина Жданова,
Ильяна Золотарёва,
Александр Караваяев,
Аркадий Курамшин,
Фёдор Майборода,
Вячеслав Мещеринов,
Елизавета Павлова,
Ксения Цветкова,
Алина Чернова,
Елизавета Чернышева

Корректор

Юлия Болдырева

Цветокоррекция и пре-пресс

Максим Куперман

НОВОСТИ 4

Новости науки 4

Новости вуза 6

МФТИ в СМИ 8

ОТКРЫТО 10

Материаловедение

На лантаноиды пролили свет

Масс-спектрометрия 11

Из чего же сделан мамонт

Бионформатика 12

Порочные циклы
возрастных болезней

Молекулярная биология 13

«Карман» для мизопроста

Медицина 14

Soft и hard для изучения аритмии

Астрономия 15

Джеты квазаров
«замечают следы»

Технологии 16

На волне через электронное
море графена

Фотоника 17

Лазеры размером с бактерию

ГЛАВНОЕ 18

Период химии

Машина времени 20

Как пришли к Периодическому
закону

Существует ли окончательная версия таблицы Менделеева? 24

Химия – физикам 28

От Николая Семёнова до наших дней

Новые лаборатории МФТИ 33

Где делают самый чистый графен в России

Умные полимеры 36

Рассказываем о лаборатории инженерного
материаловедения МГУ

Квантовая химия 42

Что это, объясняет руководитель
департамента химии МФТИ Александр Митин

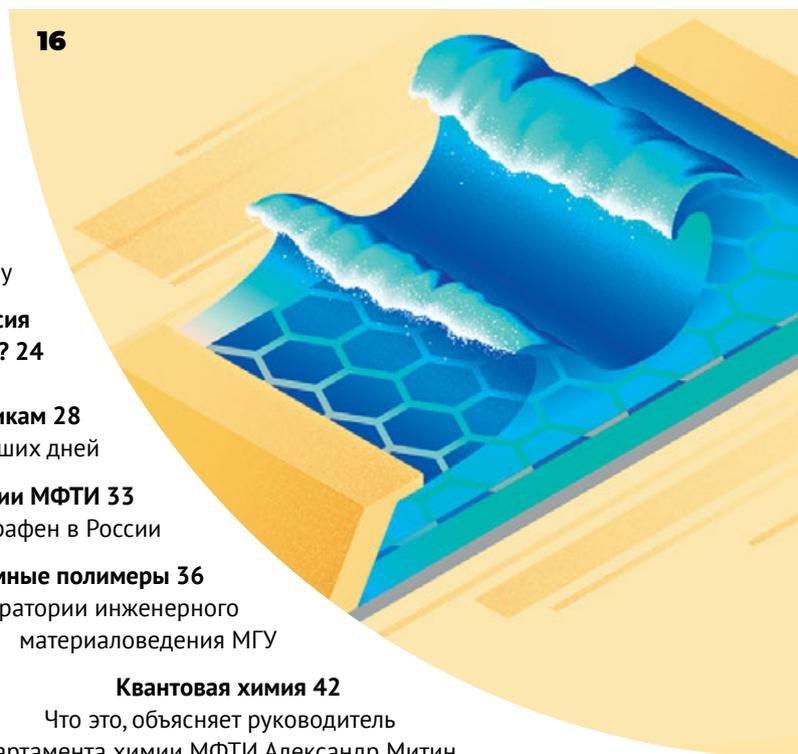
Молекулярные машины 44

Чем занимаются в Центре фотохимии РАН



28

16





48 КАРЬЕРА УЧЕНОГО

Как найти стажировку за границей

50 РЕЙТИНГ

От биосенсора до звездных войн

54 МНЕНИЕ

Между физикой и биологией
Колонка Александры Борисовой

58 Вселенная: новая модель

О новой теории рассказывает астрофизик Николай Горькавый

64 СВОИМИ ГЛАЗАМИ

Счастливого плавания
Чем занимаются в лаборатории геофизических исследований Арктики и Мирового океана

70 BACKGROUND

Человек из будущего
Игорь Ефимов, заведующий лабораторией физиологии человека МФТИ, декан факультета биомедицинского инжиниринга в Университете Джорджа Вашингтона

70

72 ИНТЕРВЬЮ

Не позволяйте посторонним хвалить вас

Беседа с Вадимом Конюховым, одним из первых физтехов

76 Как я танцую чечетку

История одного возвращения в Россию

78 РАЗБОР ПОЛЕТОВ

Алита в стране киберчудес

80 ФОТОХРОНИКА

76



Ректор МФТИ

Николай Кудрявцев

Проректор по научной работе и программам развития

Виталий Баган

Начальник пресс-службы МФТИ

Алёна Гупаисова

Экспертный совет

Михаил Алфимов, Дмитрий Ионов, Александр Митин, Елена Образцова, Владимир Разумов

e-mail и сайт журнала:

zn@phystech.edu
zanauku.mipt.ru

Подписано в печать

29.03.2019

Тираж 999 экз.

Отпечатано в типографии «Сити Принт». г. Москва, ул. Докукина, 10/41

Перепечатка материалов невозможна без письменного разрешения редакции журнала.

Мнения и высказывания, опубликованные в материалах журнала «За науку», могут не совпадать с позицией редакции.

КАК ИЗМЕНИТЬ ЭЛЕКТРОН

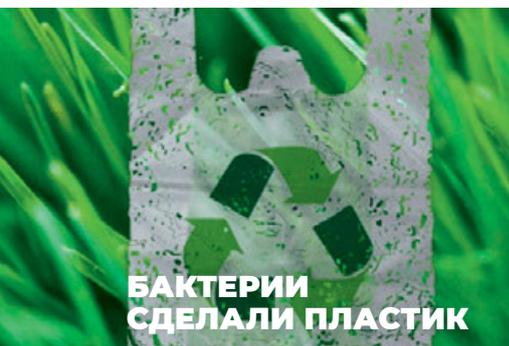
Сотрудники Томского государственного университета выяснили, что, изменяя форму волны электрона, можно контролировать его внутренние характеристики. Статья опубликована в журнале Physical Review A. «В своей работе мы теоретически показываем, что, меняя форму

волны электрона или, что то же самое, его квантовое состояние, можно задавать некоторые внутренние характеристики частицы», — рассказал один из авторов статьи Дмитрий Карловец. Авторы выяснили, что таким образом можно контролировать магнитный дипольный момент электрона, который характеризует взаимодействие



частицы с магнитным полем, и электрический квадрупольный момент, который показывает, насколько отличается распределение электрического заряда электрона

от идеально сферического. Открытие позволит создавать пучки частиц, которые будут полезны при определении электромагнитных свойств разных материалов.



© РИА Новости. А. Полянина

Американские ученые «натаскали» бактерий вида *Novosphingobium aromaticivorans* превращать бесполезный лигнин в экологичную альтернативу пластика. Речь идет о биоразлагаемом веществе, производство которого при помощи микроорганизмов обойдется дешевле, чем синтез аналогов из нефти. Исходное сырье получается из древесины в качестве отходов бумажного производства. В тканях деревьев, кустарников и трав, помимо целлюлозы, присутствует лигнин. Это трехмерный полимер, составленный, в основном, из большого количества молекул фенилпропана (C₉H₁₀).

Молекулу лигнина трудно разбить на составляющие, однако это не составило сложности для бактерий *Novosphingobium aromaticivorans*. В процессе пищеварения микроб превращает ароматические соединения в 2-пирон-4,6-дикарбоновую кислоту.

Пластиковые бутылки, изготовленные из лигнина, биоразлагаемы и не выделяют в среду гормоноподобные соединения, в отличие от своих предшественников.

МЫСЛИ ОЗВУЧИЛИ

Нейроинженеры Колумбийского университета (США) создали систему, которая переводит мысли человека в понятную, различимую речь. Наблюдая за активностью в слуховой коре головного мозга, система восстанавливает слова, которые слышит человек. Это еще не озвучивание мыслей в прямом смысле слова, но важный шаг в этом направлении. Чтобы научить вокодер интерпретировать мозговую активность, специалисты нашли пятерых пациентов с эпилепсией, уже перенесших операции на головном мозге. Их попросили прослушать предложения, сказанные разными людьми, в то время как электроды измеряли мозговую активность, которую обрабатывали четыре модели. Эти нейронные паттерны

обучали вокодер. Затем исследователи попросили тех же пациентов послушать, как динамики производят цифры от 0 до 9, записывая сигналы мозга. Звук, производимый вокодером, был проанализирован и очищен несколькими нейронными сетями. В результате обработки на выходе нейросети был получен голос робота, произносящий последовательность чисел.



МОДЕЛЬ ФУТБОЛИСТА

Ученые Католического университета Левена совместно с аналитической компанией SciSports разработали компьютерную модель на основе машинного обучения, способную



рассчитать, как отдельно взятый футболист может выполнять свою работу под психологическим давлением. «Наша модель предсказывает решения, которые примет футбольный игрок, искусность исполнения технико-тактического действия и влияние предпринятых шагов на исход игры», — комментирует профессор Джесси Дэвис. Для создания модели были проанализированы данные порядка 7 000 матчей.

1 марта 2019 ученые представят результаты работы на важном событии спортивного мира — конференции MIT Sloan Sports Analytics.



МАМОНТА ПОПРОБОВАЛИ ОЖИВИТЬ

Японские и российские ученые обнаружили биологическую активность в клетках шерстистого мамонта, погибшего около 28 тысяч лет назад. Они попытались заставить делиться ядра из клеток мамонтенка Юки. Мумию молодой самки мамонта, которую прозвали Юка, нашли в Якутии, на побережье моря Лаптевых, в 2010 году. Она прекрасно сохранилась, до нас дошли мягкие ткани, шерсть и мозг животного. Исследователи поместили структуры из тканей мамонта, похожие на клеточные ядра, в яйцеклетки мышей и увидели, что они начали делиться, но окончательного деления клеток не произошло. Авторы подчеркивают, что при современном уровне развития технологий говорить о клонировании мамонтов слишком рано, но их метод позволяет оценить биологическую активность в клетках вымерших животных.

ЭКЗОСФЕРА ДО ЛУНЫ

Ученые из Института космических исследований РАН совместно с коллегами из Франции и Финляндии изучили границы распространения водорода в экзосфере Земли — области, которая традиционно определялась как половина на дистанции от нашей планеты до Луны, то есть с условным радиусом порядка 200 тысяч километров. Оказалось, что на самом деле она куда больше. Исследователи сравнили данные различных обзоров окрестностей Земли в ультрафиолете (линии поглощения атомов нейтрального водорода). В итоге



им удалось выяснить, что сверхразреженное облако водорода, окружающее Землю, простирается на удаление до 600 тысяч километров от нее. Со стороны Солнца его диаметр меньше, со стороны, далекой от Солнца, водородное облако простирается дальше. Причина этого — давление солнечного излучения и солнечного ветра на экзосферу нашей планеты.

90 пикометров — величина горизонтального эмиттанта синхротрона «Сибирский кольцевой источник фотонов» (СКИФ), планируемого к созданию в Новосибирске



173 КИЛОТОННЫ
В ТРОТИЛОВОМ
ЭКВИВАLENTE

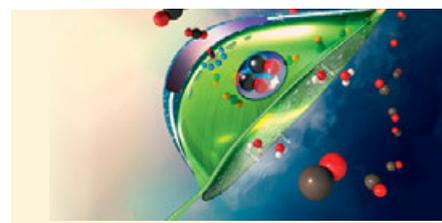
сила взрыва метеорита, разорвавшегося над Беринговым морем 18 декабря 2018 года

СТАРЫЙ БЕЛЫЙ КАРЛИК

Белый карлик в созвездии Козерога на расстоянии примерно 145 световых лет от Земли обнаружил волонтер, работающий с проектом NASA Backyard Worlds: Planet 9. Специалисты рассчитали, что его возраст составляет около трех миллиардов лет, а температура — приблизительно 5 800 градусов Цельсия.

Он окружен пылевыми кольцами, которые ученым на данный момент трудно объяснить. Предполагалось, что такие старые карлики, как этот, должны быть лишены пылевых колец. Однако оказалось, что это не так. Таким образом, обнаружение карлика может привести к пересмотру текущих моделей, описывающих эволюцию звездных систем.

© NASA's Goddard Space Flight Center/Scott Wiessinger



ИСКУССТВЕННАЯ ЛИСТВА

Сотрудники Иллинойского университета в Чикаго предложили новую модификацию искусственного листа, которая, усваивая углекислый газ, превращает его в топливо в 10 раз эффективнее природных систем. В разработке используются только легкодоступные материалы и технологии. Согласно подсчетам авторов, 360 созданных по новой технологии листьев размером 1,7 на 0,2 метра позволят за день уменьшить концентрацию углекислого газа на 10% в радиусе 100 метров от установок.

НОВАЯ МАГИСТРАТУРА

В сентябре 2019 года на Физтехе будет запущен ряд новых магистерских программ на русском и английском языках, которые были одобрены по итогам конкурсов на разработку и реализацию программ магистратуры по приоритетным направлениям развития науки и технологий (в рамках Программы 5-100).



Русскоязычные магистерские программы:

- «Возобновляемые источники энергии. Водородная и электрохимическая энергетика»;
- «Природные системы и безопасное освоение Арктики»;
- «Двумерные материалы: физика и технология наноструктур»;
- «Индустриальная биоинформатика»;
- «Современная комбинаторика»;
- «Методы и технологии искусственного интеллекта»;
- «Мониторинг природных и техногенных сред».

Конкурс англоязычных магистерских программ завершился открытием пяти новых проектов:

- «Master in Digital Transformation»;
- «Blockchain»;
- «Cyber Security»;
- «Master of International Business, Entrepreneurship and Technology»;
- «Industrial Bioinformatics».

Материалы курсов будут доступны онлайн, в программу включены лекции крупных мировых ученых.

МФТИ В РЕЙТИНГАХ

Британская компания Quacquarelli Symonds опубликовала глобальный предметный рейтинг лучших вузов. МФТИ занял место в топ-100 по физике, улучшил прошлогодний результат на 50 позиций по математике (101-150 место) и по компьютерным наукам и инженерному делу в электронике (201-250 место). Также он впервые попал в топ-200 отраслевого рейтинга по инженерным наукам (Engineering & Technology) и вошел в рейтинг по наукам о материалах (251-300 место).

В опубликованном в начале года рейтинге «THE Emerging Economies University Rankings 2019» Физтех расположился на 12 месте. Всего в список вузов, расположенных в странах с развивающейся экономикой, вошли 35 российских университетов, МФТИ — второй среди них.



КЭШБЭК ДЛЯ АЛЬМА-МАТЕР

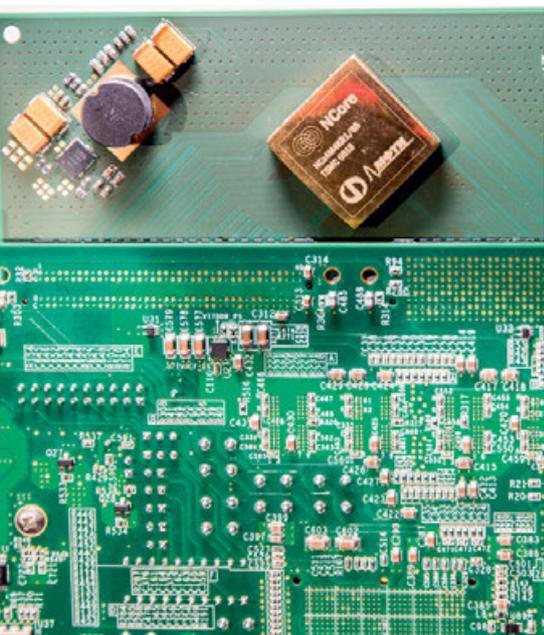
Физтех-Союз совместно с компанией Тинькофф запустили проект по выпуску дебетовых карты МФТИ. Их обладатели автоматически получают статус членов сообщества Физтех-Союз и возможность посещать регулярные мероприятия для выпускников. Также каждый месяц 1% от суммы покупок банк из собственных средств будет перечислять в Фонд целевого капитала МФТИ.

20 МЛН НА РАЗВИТИЕ МАТЕМАТИКИ

В марте сформирован целевой капитал (ЦК) №6 на развитие математики и информатики. Инициатива по созданию ЦК принадлежит директору Физтех-школы прикладной математики и информатики (ФПМИ) Андрею Райгородскому. Он сам поучаствовал в формировании этого целевого капитала, вложив 2 млн рублей. Поддержать развитие прикладной математики и информатики присоединились и выпускники МФТИ Андрей Гаек, Дмитрий Чихачёв и Сергей Гуз. Сегодня ЦК №6 составляет 20 млн рублей. Доход от управления капиталом пойдет на поддержку абитуриентов и студентов ФПМИ, преподавателей и исследователей, открытие новых подразделений для развития фундаментальной науки, поддержку региональных научных и образовательных центров.



ПОБЕДЫ И НАГРАДЫ



НАШ ПЕРВЫЙ ПРОЦЕССОР

Лаборатория нейровычислительных систем МФТИ в рамках проекта Фонда перспективных исследований продемонстрировала работу первого российского специализированного нейросетевого процессора для энергоэффективного выполнения алгоритмов машинного обучения. Представленный процессор NCore изготовлен на зарубежной фабрике по проектным нормам 65 нм, однако данная технология в настоящий момент уже проходит квалификацию на отечественном предприятии «Микрон» в Зеленограде. При этом по достигнутому уровню энергоэффективности NCore сравним с графическими ускорителями, производимыми по проектным нормам 28 нм и менее. Помимо собственного производства, важная часть проекта — создание автоматического транслятора алгоритмов машинного обучения, разработанных в популярных пакетах TensorFlow, Caffe и Keras. Это позволит пользователям работать в привычных для них средах. Помимо Физтеха, в кооперацию соисполнителей входят ГосНИИАС и ИНУЭМ имени И. С. Брука.

СБОРЫ ПО ПРОГРАММИРОВАНИЮ ICPC BYTEDANCE & MOSCOW WORKSHOPS ICPC PROGRAMMING CAMP В ПЕКИНЕ

Первое место среди российских команд и 7 место внутри дивизиона: команда МФТИ Shock Content. Ранее команда также вошла в пятерку лучших на международных сборах по программированию в Петрозаводске.

ПРЕМИЯ ПРАВИТЕЛЬСТВА РФ В ОБЛАСТИ ОБРАЗОВАНИЯ

Артём Воронов — руководитель сборной России по физике, доцент кафедры общей физики, проректор МФТИ по учебной работе и довузовской подготовке;
Александр Киселёв — тренер сборной России по физике, сотрудник Учебно-методической лаборатории по работе с одаренными детьми МФТИ;
Виталий Шевченко — тренер сборной России по физике, сотрудник Учебно-методической лаборатории по работе с одаренными детьми МФТИ;
Елена Снигирёва — тренер по химии на Международную естественнонаучную олимпиаду юниоров;
Игорь Киселёв — тренер по биологии на Международную естественнонаучную олимпиаду юниоров.

ПРЕМИЯ ПРАВИТЕЛЬСТВА МОСКВЫ ДЛЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

Дмитрий Терешонок и **Владислав Панов** (выпускники кафедры физической механики ФАКИ (ныне ФАКТ)) — за разработку технологий энергетики и экологии;
Вячеслав Поляков и **Артём Шелаев** (выпускники ФФКЭ и ФМХФ (ныне ФЭФМ)) — за разработку ближнепольного оптического микроскопа видимого и ИК-диапазонов с нанометровым пространственным разрешением;
Антон Кирьянов, **Артём Красилов** и **Александр Кротов** (выпускники ФРТК (ныне ФРКТ)) — за исследование методов повышения качества обслуживания гетерогенного трафика в беспроводных сетях нового поколения. Антон Кирьянов и Артём Красилов являются также преподавателями кафедры проблем передачи информации и анализа данных ФРКТ МФТИ;
Константин Минеев (выпускник ФМБФ (ныне ФБМФ)) — за исследование пространственной структуры клеточных рецепторов с одним трансмембранным сегментом;
Николай Кинёв (выпускник ФФКЭ (ныне ФЭФМ)) — за значительный вклад в исследование сверхпроводниковых источников терагерцового излучения и разработку широкодиапазонного перестраиваемого ТГц-генератора на ос-

нове туннельных наноструктур для применения в медицине и биологии.

ПРЕМИЯ ПРЕЗИДЕНТА В ОБЛАСТИ НАУКИ И ИННОВАЦИЙ ДЛЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

Лауреат — выпускник МФТИ Иван Оселедец.

ОТКРЫТЫЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ СОРЕВНОВАНИЯ IRAN FIRAROBOWORLDCUP OPEN 2019

Третье место: команда МФТИ «Старкит» (Иван Хохлов, Илья Рякин, Владимир Литвиненко и руководитель команды Сергей Семендяев).

ПРЕМИЯ В ОБЛАСТИ НАУКИ И ТЕХНИКИ ИМЕНИ ВИЛЛУМА КАННА РАСМУССЕНА

Сергей Божевольный (выпускник МФТИ 1978 года) — за значительный вклад в датскую науку.

НАГРАДЫ ПРАВИТЕЛЬСТВА МОСКВЫ, ДОЛГОПРУДНОГО И МФТИ

Благодарность мэра Москвы:
Юрий Аланакян, профессор кафедры общей физики;
Артём Воронов, проректор по учебной работе и довузовской подготовке;
Рогдай Зайцев, профессор кафедры теоретической физики;
Александр Морозов, профессор кафедры общей физики;
Елена Устич, помощник ректора.

Почетное звание «Почетный работник образования города Москвы»:
Александр Максимычев, заведующий кафедрой общей физики.

Знак главы города Долгопрудного «За трудовое отличие»:
Вера Яценко, корректор 1 категории административного отдела.

Почетная грамота Правительства Москвы:
Инна Нижник, начальник отдела по работе с иностранными студентами.

Почетное звание «Заслуженный работник МФТИ»:
Людмила Миронова, заместитель главного врача по экономическим вопросам санатория-профилактория;
Людмила Субботина, инженер-программист 2 категории лаборатории №1 кафедры информатики и вычислительной математики;
Любовь Шустова, ведущий инженер лаборатории 1 курса учебно-методического центра кафедры общей физики.



QUASAR JETS CONFUSE ORBITAL TELESCOPE

Astrophysicists from the Moscow Institute of Physics and Technology, the Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Sciences (LPI RAS), and NASA have found an error in the coordinates of active galactic nuclei measured by the Gaia space telescope, and helped correct it. The findings, published in The Astrophysical Journal, also serve as an independent confirmation of the astrophysical model of these objects.

Подробнее на стр. 15

ФИЗТЕХОВСКОЕ БРАТСТВО, КВАНТОВЫЕ ТОЧКИ И КВН: КАК ПРОХОДИТ УЧЕБА В МФТИ



В Московском физико-техническом институте обучается более 6 тыс. студентов, 12% из которых приехали в Россию из других стран, в том

числе стран СНГ. Ильяс Мынжасаров, студент четвертого курса Физтех-школы физики и исследований им. Ландау, поступил в ведущий технический вуз страны из Казахстана, Алматы. Он рассказал о своей жизни на Физтехе — научной и не очень, о физтеховском братстве и об атмосфере принятия.



ФИЗИКИ РАЗМЕСТИЛИ ЛАЗЕРНЫЙ ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗАТОР НА МИКРОЧИПЕ

Исследователи из Российского квантового центра, Политехнической школы Лозанны (EPFL), МГУ и МФТИ разработали технологический процесс производства компактных лазерных химических анализаторов на базе оптических частотных гребенок, совместимый со стандартными технологическими процессами, которые используются для производства «обычной» электроники.

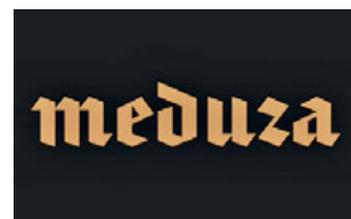


STUDY REVEALS THE STRUCTURE OF THE 2ND HUMAN CANNABINOID RECEPTOR

A Chinese research team joined forces with Russian and U.S. biologists to obtain the crystal structure of the human type 2 cannabinoid receptor. <...> Their findings will help develop

drugs against inflammatory, neurodegenerative, and other diseases. CompuMug is a software suite that predicts mutations potentially useful for stabilizing receptor molecules. The muta-

tions then need to be tested experimentally. This software was developed by two researchers from the Moscow Institute of Physics and Technology and the University of Southern California: visiting MIT professor Vsevolod Katritch and Petr Popov from the Laboratory of Structural Biology of G Protein-Coupled Receptors.



КВАНТОВАЯ ИСТОРИЯ БЕНДЖАМИНА БАТТОНА. ФИЗИК ГОРДЕЙ ЛЕСОВИК — ОБ ЭКСПЕРИМЕНТЕ ПО ПЕРЕМЕЩЕНИЮ В ПРОШЛОЕ

13 марта журнал Scientific Reports опубликовал статью «Стрела времени и ее обращение вспять на квантовом компьютере IBM». В ней группа ученых показала, как можно заставить квантовую систему вернуться в прошлое. «Медуза» попросила ведущего автора исследования, заведующего лабораторией физики квантовых информационных технологий МФТИ Гордея Лесовика рассказать об этом эксперименте по путешествию во времени.



РОССИЙСКИЙ ФИЗИК ПОЛУЧИЛ ПРЕМИЮ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК США

Российский ученый Алексей Мельников получил премию Национальной академии наук США за научные публикации, посвященные связи машинного интеллекта с экспериментами в квантовой физике. <...> Алексей Мельников — выпускник МФТИ, научный сотрудник Физико-технологического института РАН в Москве, Базельского университета в Швейцарии и Университета ИТМО в Санкт-Петербурге. Церемония награждения состоится в конце апреля в Вашингтоне.



«МЕНЯ ПРИЯТНО УДИВИЛ УРОВЕНЬ НАУКИ, ОБОРУДОВАНИЯ, А ТАКЖЕ ОБРАЗОВАНИЯ И ОПЫТА СОТРУДНИКОВ»

Какие пути ведут из Оксфорда в Долгопрудный, как междисциплинарные исследования заставили химика сменить профиль и чем российские ученые отличаются от зарубежных коллег, рассказывает в своей колонке Евгений Кольчев, научный сотрудник лаборатории нанобиотехнологий МФТИ.

РОССИЙСКИЕ УЧЕНЫЕ РАЗРАБОТАЛИ НОВЫЙ СПОСОБ ОБНАРУЖЕНИЯ ТРОМБОВ ПРИ ПОМОЩИ УЛЬТРАЗВУКА



ИНФОРМАЦИОННОЕ АГЕНТСТВО РОССИИ

Исследователи Московского физико-технического института (МФТИ) и Национального медицинского исследовательского центра гематологии Минздрава РФ (НМИЦ гематологии) предложили использовать ультразвук для мониторинга свертывания крови, что является сигналом образования тромба на ранних стадиях и позволяет оперативно предотвратить тромбообразование.

ВЕДОМОСТИ

КАК ТРИ ВЫПУСКНИКА ФИЗТЕХА ПОМОГАЮТ ОНЛАЙН-МАГАЗИНАМ ПРОДАВАТЬ ОДЕЖДУ

27-летние Станислав Подшивалов, Михаил Матросов и 28-летний Ваге Таамазян никогда не интересовались модой и не покупали одежду в интернете. Но сейчас три выпускника МФТИ зарабатывают именно тем, что помогают клиентам онлайн-ритейлеров подбирать одежду нужного размера и фасона. В 2016 г. они разработали сервис Sizolution, который встраивается в сайт магазина. Пользователь перед покупкой заполняет анкету — указывает возраст, рост, вес, пол, обхват бедер и груди, выбирает тип фигуры. Данные программа сопоставляет с мерками конкретной вещи и подбирает покупателю модель нужного размера.



ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ. БЕЛЫЕ ПЯТНА

Многие из них обожают дышать серой и мышьяком. Не сгорают от жары при 120 градусах Цельсия и режутся при высоком давлении. Они — наши соседи по планете, удивительные существа — микробы-экстремофилы. Кто победит в продуктовой гонке? Студенты из Московского Физтеха придумали систему, которая легко определит любые вредные вещества в продуктах.



RAPID PROGRESSION OF AGE-RELATED DISEASES MAY RESULT FROM FORMATION OF VICIOUS CYCLES

Biologist Aleksey Belikov from the Moscow Institute of Physics and Technology has proposed that rapid progression of age-related diseases may result from the formation of so-called vicious cycles. An example of this is when toxic products of a biochemical reaction trigger that same reaction to happen again. The study, published in the January issue of Ageing Research Reviews, highlights the most promising options for age-related disease treatment that focus on interrupting vicious cycles.

Подробнее на стр. 12



УЧЕНЫЕ ИЗМЕРИЛИ РИСК ЗАПОЛУЧИТЬ ХРОНИЧЕСКУЮ БОЛЕЗНЬ ПОСЛЕ 40. ОН УДВАИВАЕТСЯ КАЖДЫЕ 8 ЛЕТ

Группа ученых из МФТИ и компании Gero под руководством Петра Федичева использовала альтернативный подход и проанализировала продолжительность не всей жизни, а только время до начала развития возрастных заболеваний, так называемую здоровую продолжительность жизни.



«ПЛЕВКИ» ЧЕРНЫХ ДЫР ПОМОГЛИ УЧЕНЫМ УТОЧНИТЬ СВОЙСТВА ТЕМНОЙ МАТЕРИИ

Известный российский физик-теоретик Сергей Троицкий, работающий в Институте ядерных исследований РАН в Троицке, и его коллеги смогли значительно сузить поле поисков «легкой» темной материи, изучая данные, которые собирали их коллеги из МФТИ, ФИАН и Финляндии, проводившие «перепись» ядер активных галактик при помощи ряда наземных радиотелескопов.

ИНТЕРНЕТ-ПОРТАЛ

Научная Россия

РОССИЙСКИЕ ХИМИКИ ПРОЛИЛИ СВЕТ НА ЛАНТАНОИДЫ

Ученые из Физического института РАН и МФТИ получили новые органические соединения, необходимые для создания эффективно люминесцирующих материалов на основе лантаноидов. Люминесцентные свойства этих веществ сопоставимы с используемыми сегодня в промышленности соединениями благородных металлов, но их производство будет в разы дешевле. Работа опубликована в Beilstein journal of organic chemistry.



ФИЗИКИ ИЗ РФ И ШВЕЙЦАРИИ ВЫЯСНИЛИ, КАК ВСТРОИТЬ «ЛАЗЕРНЫЙ НОС» В КРЕМНИЕВЫЙ ЧИП

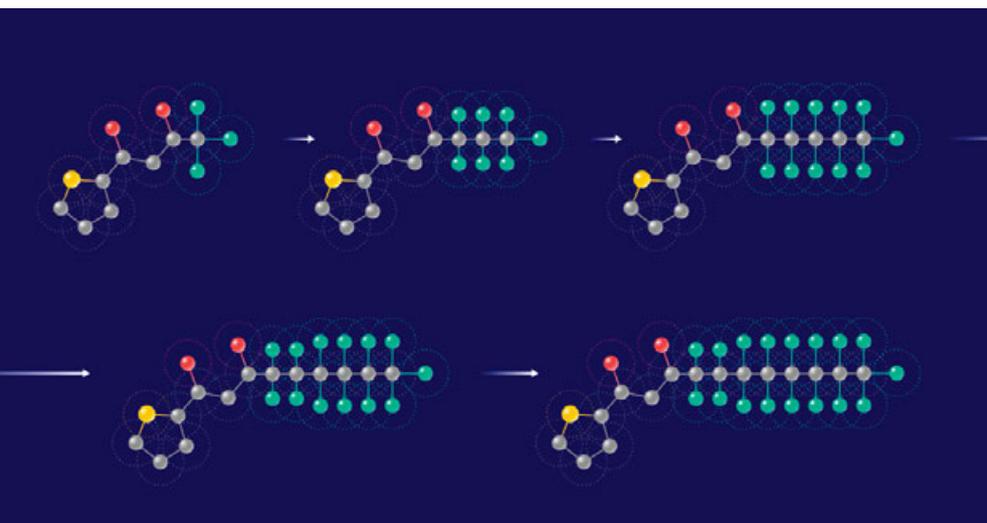
Ученые из Российского квантового центра, МГУ, МФТИ и Швейцарии выяснили, как можно построить сверхчувствительный лазерный химический анализатор в обычный кремниевый чип, сообщает РИА Новости. Описание методики их «печати» было представлено в журнале Nature Communications.

Оригинальная статья: *A convenient and practical synthesis of β -diketones bearing linear perfluorinated alkyl groups and a 2-thienyl moiety*, Ilya V. Taydakov, Yuliya M. Kreshchenova and Ekaterina P. Dolotova; *Beilstein journal of organic chemistry*, Dec 2018.

✍ Вячеслав Мещеринов

На лантаноиды пролили свет

Получены новые органические соединения, необходимые для создания эффективно люминесцирующих материалов на основе лантаноидов.



Люминесцентными называются материалы, которые при облучении светом сами начинают светиться. Спектр применения этих материалов чрезвычайно широк. Они нужны для изготовления защитных маркировок, создания источников света и оптико-электронных устройств. В настоящий момент в промышленности используются металлоорганические соединения благородных металлов — в основном платины и иридия. Эти соединения обладают рядом недостатков, что накладывает ограничения на сферу их возможного применения. Невозобновляемые запасы

платиновых металлов постоянно уменьшаются, а синтезировать такие материалы сложно, поэтому они дороги, к тому же обладают достаточно низкой монохроматичностью излучения, то есть не могут излучать в узком спектральном диапазоне. В отличие от них, соединения на основе лантаноидов существенно дешевле и обладают высокой монохроматичностью, что важно при создании RGB-матриц для экранов всевозможных устройств, лазеров, специальных селективных меток.

Для получения люминесцирующих соединений лантаноидов нужны специальные органиче-

Лантаноиды — семейство, состоящее из 15 химических элементов — металлов с атомными номерами 57–71 (от лантана до лютеция). Относятся к группе редкоземельных элементов



ПРЯМАЯ РЕЧЬ

Илья Тайдаков, один из авторов работы, ведущий научный сотрудник лаборатории технологий 3D-печати функциональных микроструктур МФТИ:

— Такие соединения до нас практически не изучались. В рамках этой работы мы предложили метод синтеза, который позволяет их получать. Оптимизировали его, получили ряд новых производных и полностью их охарактеризовали. Интересно, что по мере увеличения длины фторированной боковой цепи органической молекулы улучшаются люминесцентные свойства, но не до бесконечности, где-то существует оптимум.

ские молекулы, которые взаимодействуют с ионами лантаноидов. Эти органические молекулы должны обладать рядом свойств, чтобы получающиеся комплексы были эффективными люминофорами. На первом этапе своих исследований ученые из Физического института РАН и МФТИ взяли в качестве такой органической молекулы распространенный промышленный реагент — 2-теноилтрифторацетон. Они синтезировали ряд его аналогов, содержащих более длинные фторированные цепочки углеродных атомов в боковой цепи структуры этого реагента, чтобы в будущем исследовать их взаимодействие с ионами лантаноидов.

Сами трехвалентные ионы лантаноидов при наличии неполностью заполненной f-оболочки (от церия до иттербия) могут поглощать и испускать свет. Но эффективность процесса поглощения света очень низка. Решить эту проблему можно, подобрав такую органическую молекулу, у которой высокий коэффициент поглощения. Таким образом степень поглощения света можно увеличить в 3–4 тысячи раз и создать уже материалы, которые будут эффективно люминесцировать. **зн**

Оригинальная статья: *Proteomic and lipidomic analysis of mammoth bone by high-resolution tandem mass spectrometry coupled with liquid chromatography*; Yury Kostyukevich et al., *European Journal of Mass Spectrometry*, December, 2018.

✍ Алина Чернова

Из чего же сделан мамонт

Изучен белковый и липидный состав ископаемых останков сибирского мамонта.

НАПРАВЛЕНИЕ «ПАЛЕО»

Долгое время палеонтологи считали, что все следы ДНК, белков, жиров и прочих органических молекул, составляющих основу клеток, исчезают из будущих окаменелостей в первые годы после их захоронения. Эти представления были разрушены в конце прошлого века, когда ученые обнаружили обрывки коллагена, главного белка соединительной ткани, в останках древних существ, живших во времена ледникового периода. Позже аналогичные следы органики были найдены в костях динозавров и древних птиц, и оказалось, что обрывки ДНК могут сохраняться в условиях вечной мерзлоты на протяжении миллиона лет или даже более длительного срока.

Новые методы генетического анализа позволили начать исследования ДНК, извлеченной из древних костей. Появилось целое направление в науке — палеогенетика, позволившая разгадать много эволюционных загадок. Тем не менее одной генетики недостаточно для получения полного представления о животных, живших задолго до нас. Кроме ДНК, в составе живых организмов крайне важны белковый и жировой

компоненты. Поэтому в дополнение к палеогеномике появилась палеопротеомика, изучающая древние белки. Жировым же молекулам — липидам — уделялось мало внимания, так как большинство из них крайне нестабильны и просто не хранятся миллионы лет. Однако некоторые липиды переживают окислительный стресс и превращаются в ископаемые останки, которые можно изучать.

98 БЕЛКОВ И 73 ЛИПИДА

Ученые из Сколтеха и МФТИ в своем новом исследовании, затрагивающем одновременно палеопротеомику и новую дисциплину палеолипидомику, смогли надежно идентифицировать 98 белков и 73 липида в кости сибирского мамонта, обнаруженной на реке Яне в Сибири. Исследование проводилось с помощью хромато-масс-спектрометрических (ХМС) методов.

Результаты сравнили с анализами материала из костей ныне живущего африканского слона. Многие белки, как отмечают исследователи, были похожи на аналогичные из костей слонов, а три из них оказались уникальными для мамонтов.

ПРЯМАЯ РЕЧЬ

Юрий Костюкевич, автор исследования, старший научный сотрудник Сколтеха и лаборатории ионной и молекулярной физики МФТИ:

— Среди обнаруженных нами белков было не только коллаген, составляющий основу костной ткани организма, но и альбумин, люмикан, остеоглицин, альфа-2-HS-гликопротеин, которые регулируют различные процессы в организме. Что касается липидов, то, как оказалось, многие из них не сохраняются в течение такого длительного времени. Нам удалось обнаружить только триглицериды, ни фосфатидилхолины, ни сфингомиелины обнаружены не были.

Число жировых молекул тоже было достаточно высоким, однако все они относились к числу относительно простых жиров, так называемых триглицеридов. Остальные разновидности липидов, как предполагают химики, оказались недостаточно стабильными и разрушились почти сразу после смерти мамонта.

По составу жиров и белков мамонта можно понять, как именно он адаптировался к климату того времени, что ел, чем болел. Исследователи надеются, что их данные позволят в этом разобраться и в последующем перейти к изучению останков предков людей — к их костям также может применяться новая методика поиска белков и жиров. **ЭН**

Оригинальная статья: *Age-related diseases as vicious cycles*,
Aleksy V. Belikov, *Ageing Research Reviews*, January 2019.

Порочные циклы возрастных болезней

✍ Лилия Артемьева

ПРЯМАЯ РЕЧЬ



Алексей Беликов, Dr. rer. nat., сотрудник лаборатории разработки инновационных лекарственных средств МФТИ:

– Рассмотрев механизмы развития возраст-ассоциированных заболеваний, можно сделать вывод, что к моменту постановки диагноза воздействовать на пусковые факторы уже бесполезно. Наиболее эффективным представляется разрывать изученные порочные циклы, блокируя их звенья. Многие из таких медикаментов уже находятся в разработке.

ПЯТЬ НАИБОЛЕЕ РАСПРОСТРАНЕННЫХ

Ученым были пошагово рассмотрены процессы возникновения пяти наиболее распространенных возрастных заболеваний и выделены молекулярные и клеточные реакции, которые образуют порочные циклы. Он рассмотрел статистику летальных исходов от атеросклероза, гипертонии, сахарного диабета двух типов, болезней Альцгеймера и Паркинсона. При детальном анализе развития возрастных заболеваний оказалось, что экспоненциальный рост наблюдается, когда на молекулярном или клеточном уровне единичные реакции продуцируют патогенные продукты, а эти продукты, в свою очередь, заново запускают те же самые реакции, многократно преумножая себя и способствуя лавинообразному развитию заболевания.

Даже вещество или фактор, самостоятельно не несущие смертельной опасности, могут запустить порочный цикл реакций. Тогда количество и эффект токсичного компонента цикла многократно и безостановочно увеличивается. Таким образом, изначально некритичное количество безобидного вещества приводит к фатальному эффекту для организма. **ЭН**

Ученый из МФТИ исследовал механизмы развития возрастных заболеваний на молекулярном уровне и предложил варианты их торможения.

ЛАВИНООБРАЗНАЯ ПРОГРЕССИЯ

Биолог Алексей Беликов из Московского физико-технического института показал, что быстрое прогрессирование возрастных заболеваний обусловлено образованием порочных циклов, например, когда токсичные продукты биохимических реакций инициируют перезапуск тех же самых реакций. Статистика демонстрирует, что для всех основных возрастных заболеваний характерен экспоненциальный рост смертности с возрастом. Исследование выявило, что причиной такого лавинообразного прогрессирования заболеваний являются бесконечно повторяющиеся циклы реакций, многократно усиливающие вред изначально некритичных изменений в организме.

ЦЕПНАЯ РЕАКЦИЯ

Например, в нервных клетках мозга присутствует небольшое количество белка α -синуклеина, который участвует в передаче нервного им-

пульса. Иногда ген, кодирующий белок α -синуклеин, мутирует или дублируется/утраивается в геноме. Эти изменения приводят к слипанию молекул α -синуклеина и образованию так называемых токсичных олигомеров. Олигомеры, в свою очередь, присоединяют новые молекулы α -синуклеина, за счет чего растут и образуют фибриллы. Время от времени фибриллы распадаются опять на олигомеры, так что каждый из них снова начинает присоединять α -синуклеин и расти, пока не образует новую фибриллу, которая также распадается на олигомеры и т. д. Таким образом, возникает цепная реакция, где количество токсичных олигомеров α -синуклеина растет экспоненциально, предвосхищая экспоненциальный рост смертности от болезни Паркинсона. Разрушить образовавшиеся олигомеры практически невозможно, однако можно попытаться остановить их дальнейший рост и, соответственно, прогрессирование заболевания.

Иллюстрация @tsaruyaride

Оригинальная статья: *Crystal structure of misoprostol bound to the labor inducer prostaglandin E2 receptor*; Martin Audet, et al., *Nature Chemical Biology*.

«Карман» Елизавета Павлова для мизопростола

Ученые определили 3D-структуру лекарства от послеродового кровотечения и связанного с ним рецептора.



Послеродовые кровотечения, воспаления и некоторые боли снимают мизопростолом. На иллюстрации представлен мизопростол в месте связывания с простагландиновым рецептором. Иллюстрация Yekaterina Kadyshvskaya, USC Bridge Institute

МИЗОПРОСТОЛ И ПРОСТАГЛАНДИНЫ

Одной из главных причин женской смертности после родов является послеродовое кровотечение. Всемирной организацией здравоохранения основным средством профилактики этого события был признан окситоцин, однако из-за своей нестабильности и дороговизны он недоступен большинству людей в развивающихся странах. Напротив, дешевый и стабильный мизопростол получил широкое распространение, но из-за недостаточной селективности он обладает рядом серьезных побочных эффектов.

Простагландины распознаются клетками с помощью рецепторов, сопряженных с G-белками (G-protein-coupled receptors — GPCR). GPCR находятся на поверхности клетки (в клеточной мембране) и принимают сигнал извне, связываясь с внеклеточными молекулами, а затем активируют G-белки, которые, в свою очередь, передают сигнал внутрь клетки. Это своего рода уникальный

способ общения клеток между собой и с окружающей средой, поэтому многие лекарственные средства нацелены на GPCR, в том числе и мизопростол. До сегодняшнего момента структура мизопростола, связанного с рецептором, не была изучена в деталях, поэтому улучшить лекарство было невозможно.

СТРУКТУРА КОМПЛЕКСА «МИЗОПРОСТОЛ — РЕЦЕПТОР»

Международная группа исследователей из США, Канады, Китая и России, в которую входят ученые из МФТИ, впервые представила кристаллическую структуру мизопростола, связанного с целевым рецептором с разрешением 2,5 Å (для сравнения: размер атома углерода ~ 1,5 Å). Ученые обнаружили, что простагландиновый рецептор содержит небольшой «карман», в котором происходит связывание с мизопростолом. Несмотря на то, что исследуемый рецептор простагландина по форме близок к другим GPCR, после связывания с мизопростолом «карман» рецептора полно-

ПРЯМАЯ РЕЧЬ

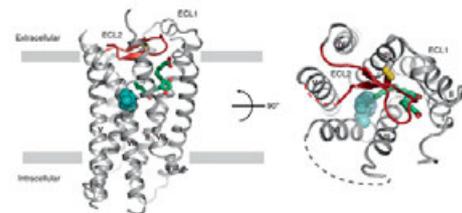


Вадим Черезов, один из соавторов статьи, заведующий лабораторией структурной биологии рецепторов, сопряженных с G-белком, МФТИ:

— Пространственная структура комплекса «мизопростол — рецептор», описанная в нашей работе, может служить отправной точкой для создания будущих лекарственных средств, сочетающих преимущества мизопростола и безопасность применения.

стью закупоривается молекулярной «крышкой», что нехарактерно для большинства GPCR. Также авторы статьи обнаружили «слабые» места в связывании рецептора с мизопростолом и провели моделирование других близких аналогов простагландинов E с улучшенной селективностью. В будущем это может послужить базой для создания нового поколения лекарственных средств. **ЭН**

Мизопростол — близкий аналог естественных биоактивных липидов простагландинов E (prostaglandins E — PGE), которые участвуют во многих физиологических процессах, таких как роды, воспаление, лихорадка, атеросклероз, сердечная ишемия, астма и другие



Взаимодействие мизопростола с рецептором. Источник: Martin Audet et al., *Nature Chemical Biology*

Оригинальная статья: *Open-Source Multiparametric Optocardiography*, Brianna Cathey et al.; *Scientific Report*, January 2019.

Иллюстрация @tsaruyamide

Soft и hard для изучения аритмии

✍ Елизавета Павлова

Ученые выложили в открытый доступ решение для многопараметрической оптокардиографии.

ИЗУЧЕНИЕ АРИТМИИ

Сокращение сердца обусловлено рядом взаимосвязанных внутриклеточных процессов: в первую очередь, электрическим возбуждением и изменением внутриклеточной концентрации кальция. В норме возбуждение инициируется группой клеток в правом предсердии (синоатриальным узлом) и распространяется по проводящей системе сердца в предсердия и желудочки. Нарушения в этих процессах, аритмии, являются ведущей причиной смертности в России и других развитых странах.

Ведущим методом, используемым сегодня для изучения механизмов аритмий, является оптическое картирование. При этом через эксплантованное сердце или участок сердечной ткани пропускается раствор, содержащий флуоресцентные красители. Это позволяет провести



ПРЯМАЯ РЕЧЬ

Игорь Ефимов, профессор Университета Джорджа Вашингтона и заведующий лабораторией физиологии человека Центра живых систем МФТИ:

— В нашей лаборатории мы поддерживаем политику открытых данных. Сейчас немногие научные группы могут позволить себе дорогое оборудование для оптического картирования, а с помощью наших чертежей они смогут недорого воспроизвести точно такую же систему, которую используем мы, и обработать данные с помощью RHYTHM. Кроме того, наш прибор дает свободу для новых экспериментов с различными типами образцов.

измерение ряда внутриклеточных процессов с использованием камер высокого временного разрешения. Широкое использование оптического картирования затруднено из-за высокой дороговизны оборудования, технических сложностей одновременной регистрации нескольких параметров изучаемого препарата и обработки регистрируемых сигналов.

ОТКРЫТОЕ РЕШЕНИЕ

Международная группа исследователей, в которую входят ученые МФТИ, разработала открытое техническое решение для многопараметрического оптического картирования электрической активности сердца. Одновременная регистрация нескольких взаимосвязанных процессов может помочь глубже понять механизмы сердечных аритмий. Как 3D-модели компонентов системы, так и программный код для анализа полученных данных выложены в открытый доступ, что позволяет использование данного решения другими группами исследователей.

Система не только открыта, но и расширяема и может регистрировать и электрическое возбуждение, и изменение внутриклеточной концентрации кальция. При этом почти все части системы (за исключением камер, объективов и насосов) были напечатаны на 3D-принтере. Ученые подсчитали, что, используя готовое 3D-решение, можно сэкономить до 20 000 \$ по сравнению с коммерчески доступными предложениями. Помимо чертежей самой системы, они разработали программное обеспечение RHYTHM для обработки и анализа сигналов, написанное на языке Matlab, с открытым исходным кодом. **ЭН**

Оригинальная статья: *Dissecting the AGN Disk–Jet System with Joint VLBI–Gaia Analysis*, A. V. Plavin, Y. Y. Kovalev, and L. Y. Petrov, *The Astrophysical Journal*, 871:143 (8pp), 2019 February 1.

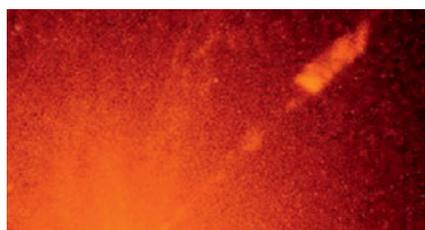
Джеты квазаров «заматают следы»

✍ Елизавета Архипова

Астрофизики нашли ошибку в определении координат центров активных ядер галактик телескопом Gaia и помогли ее исправить.

GAIA ОШИБСЯ

В 2013 году на орбиту Земли был запущен спутник-телескоп Gaia, способный улавливать оптические сигналы от относительно отдаленных источников и по ним восстанавливать координаты с большей точностью, чем это было возможно сделать с Земли. До Gaia самые точные координаты получали при помощи специальных систем радиотелескопов. Однако, как обнаружили авторы статьи, и спутнику безоговорочно доверять нельзя. Сопоставление данных обоих методов показало, что Gaia при всей своей точности допускает система-



Галактика *Вирго А*. Изображение с оптического телескопа. Источник: NASA

Активное ядро галактики — это небольшая и очень яркая область в ее центре. В него входят массивная черная дыра и газовый аккреционный диск вокруг. Часто из таких ядер вырываются мощные выбросы вещества — джеты

тическую ошибку при астрометрии целого класса космических объектов — активных ядер галактик.

КОординАТЫ СКОРРЕКТИРОВАЛИ

Начиная с прошлого года Gaia предоставляет еще и информацию о видимых «цветах» галактик. Это помогло авторам разделить вклад разных частей галактики в оптическое излучение и измеряемые координаты: источника, самого диска, джета, звезд. Оказалось, основная причина сдвига координат — длинные джеты и маленькие аккреционные диски. В то же время излучение звезд галактики практически не влияет на точность измерений.

Все это позволило сказать, что астрофизические эффекты, связанные с длинными джетами, способны сбивать с толку оптический телескоп Gaia. Но для получения точного значения можно комбинировать данные со спутника и с земного радиотелескопа.



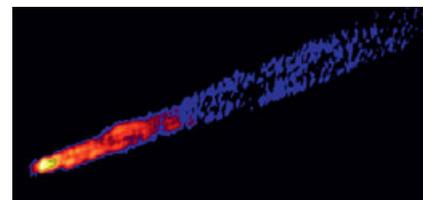
ПРЯМАЯ РЕЧЬ

Александр Плавин, научный сотрудник лаборатории фундаментальных и прикладных исследований релятивистских объектов Вселенной МФТИ и аспирант ФИАН:

— Комбинирование результатов наблюдений поможет в будущем детально восстановить структуру центральной системы диск — джет в квазарах с высочайшей подробностью — до долей парсек. Напрямую оптические телескопы получать такие изображения не могут. А у нас получится!

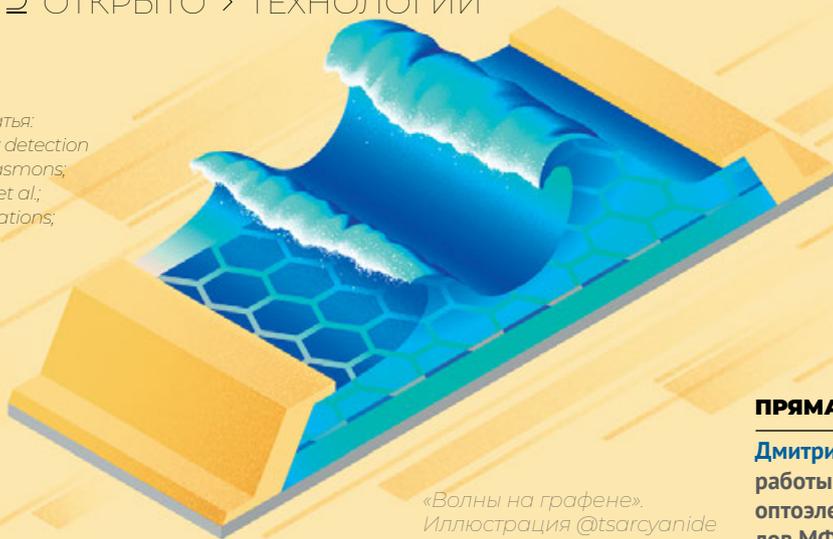
Точная астрометрия объектов вне нашей галактики имеет важное практическое применение. Именно по точным координатам отдаленных объектов — самым постоянным точкам на небе — можно составить наиболее пунктуальные системы координат, включая и те, которыми пользуются навигационные системы ГЛОНАСС и GPS.

Работа была поддержана Российским научным фондом. **3Н**



Активная галактика *Дева А* и ее джет. Изображение с радиоинтерферометра. Из архива авторов статьи. © Юрий Ковалев

Оригинальная статья:
Resonant terahertz detection
using graphene plasmons;
Denis A. Bandurin, et al.;
Nature Communications,
December 2018.



«Волны на графене».
Иллюстрация @tsarcyanide

На волне через электронное море графена

✍ Елизавета Павлова

Ученые разработали терагерцовый спектрометр величиной в несколько микрон, управляемый изменением напряжения.

Любая система беспроводной передачи информации предполагает наличие источников и детекторов электромагнитных волн, но не для любых волн они имеются. Например, существующие источники терагерцового излучения потребляют огромную мощность или требуют низких температур. Однако использование терагерцовых волн сулит повышение скорости передачи данных в Wi-Fi-системах, развитие новых методов медицинской диагностики, а также открытие объектов в радиоастрономии.

Причина неэффективности терагерцовых детекторов — разница в длине волны излучения (~0,1 мм) и размере детектирующего элемента — транзистора (~1 мкм). Волна «проскакивает» мимо детектора, не замечая его. Для решения этой проблемы в конце XX века было предложено «спрессовать» энергию падающей волны в объем, сравнимый с объемом детектора. Это возможно, если материал детектора поддерживает «компактные» волны — плазмоны. Такие волны представляют собой согласованное движение электронов проводимости и электромагнитного поля, подобное согласованному дви-

жению ветра и поверхности морской воды при зарождении шторма. В теории эффективность такого детектора должна возрастать в условиях резонанса.

Реализация детектора оказалась сложнее, чем писали теоретики. В большинстве полупроводников плазмоны быстро гаснут из-за столкновений электронов с примесями. Надежды связывали с графеном, но и он не обладал до недавних пор достаточной чистотой.

СЭНДВИЧ ДЛЯ ПЛАЗМОНОВ

Коллектив ученых из России, Англии, Японии и Италии предложил решение проблемы детектирования терагерцовых волн. Созданный фотодетектор представляет собой лист

ПРЯМАЯ РЕЧЬ



Дмитрий Свинцов, один из авторов работы, руководитель лаборатории оптоэлектроники двумерных материалов МФТИ:

— Наш прибор объединяет в себе чувствительный детектор и спектрометр терагерцового излучения, а также инструмент для изучения плазмонов в двумерных материалах. Все эти вещи существовали и до нас, но они занимали размер целого оптического стола. А теперь та же функциональность «упакована» в десяток микрометров.

двухслойного графена, зажатый кристаллами нитрида бора и подключенный контактами к терагерцовой антенне. В таком «бутерброде» примеси выталкиваются к краям, давая плазмонам свободно распространяться. При этом графен вместе с контактами образует резонатор для плазмонов, а двухслойность графена дает свободу для настройки скорости волн.

Ученые, по сути, получили компактный (несколько микронов) терагерцовый спектрометр, управляющийся путем изменения напряжения. Авторы показали также потенциал детектора и для фундаментальной науки. Измеряя ток детектора при изменении концентрации электронов и частоты, можно узнать о свойствах плазмонов. **ЭН**

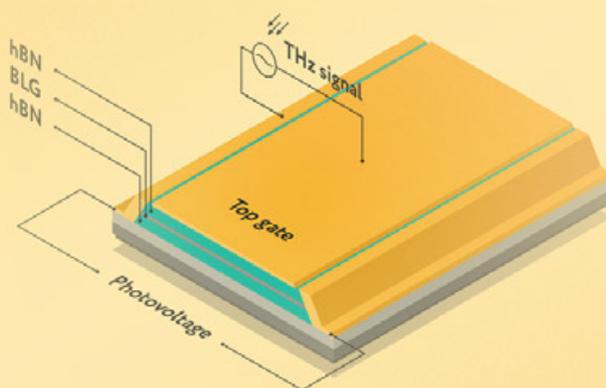


Схема детектора. Канал транзистора из двухслойного графена (bilayer graphene, BLG) зажат между кристаллами гексагонального нитрида бора (hBN). Иллюстрация @tsarcyanide

Оригинальная статья: *Lasing threshold of thresholdless and non-thresholdless metal-semiconductor nanolasers*, A. A. Vyshnevyy and D. Yu. Fedyanin, *Opt. Express*, December 2018.



Лазеры размером с бактерию

✍ Вячеслав Мещеринов

Исследователи из МФТИ определили, в каких условиях излучение нанолазеров становится по-настоящему лазерным.

НАНОЛАЗЕРЫ

Резонатор нанолазеров имеет рекордно маленькие размеры: порядка длины волны света, которую он излучает. Уже в ближайшем будущем эти устройства станут частью интегральных оптических схем, позволяющих на порядки ускорить производительность процессоров и видеокарт путем замены части металлических межсоединений на оптические.

Чтобы источник излучения можно было назвать лазером, необходимо, чтобы он соответствовал ряду требований, основным из которых является когерентность излучения. С когерентностью сильно связано другое ключевое свойство лазеров — наличие порога генерации. Многие нанолазеры ведут себя точно так же, как и обычные, макроскопические лазеры: у них

Нанолазер — источник излучения с размерами в единицы микрон

ПРЯМАЯ РЕЧЬ

Андрей Вишневый, сотрудник лаборатории нанооптики и плазмоники МФТИ:

— С точки зрения широкого круга физиков, полупроводниковый нанолазер — это обыкновенный лазер, только маленького размера. Однако, изучая когерентность таких нанолазеров, мы выяснили, что эти устройства на фундаментальном уровне имеют очень мало общего с обычными, макроскопическими лазерами.

есть пороговый ток. Однако существуют и нанолазеры, у которых невозможно найти порог генерации на выходной характеристике (зависимости мощности от тока накачки), поскольку она не имеет особенностей. Такие нанолазеры назвали «беспороговыми». Возникает вопрос: при каком токе излучение становится лазерным, то есть когерентным?

РАСЧЕТ КОГЕРЕНТНОСТИ

Андрей Вишневый и Дмитрий Федянин, сотрудники лаборатории нанооптики и плазмоники Центра фотоники и двумерных материалов МФТИ, разработали метод определения степени когерентности излучения нанолазера по его основным параметрам. Они установили, что даже «беспороговый» нанолазер имеет вполне определенный пороговый ток, выше которого излучение становится когерентным. Более того, этот пороговый ток можно найти у любого нанолазера, причем, что удивительно, он никак не связан ни с особенностями выходной характеристики, ни с уменьшением ширины спектра излучения нанолазера, характерными для макроскопических лазеров.

Исследователи смогли получить простое приближенное выражение для порогового тока нанолазеров. С его помощью каждый, кто занимается нанолазерами, сможет быстро оценить пороговый ток в изготовленной им структуре. Полученный результат дает возможность заранее предсказать, когда излучение нанолазера любой конструкции становится когерентным. Это позволит упростить и ускорить разработку практических наноразмерных источников гарантированно когерентного излучения. **ЭН**

Период химии

В марте 1869 года российский ученый Дмитрий Иванович Менделеев сумел первым сформулировать Периодический закон химических элементов таким образом, что с незначительными изменениями он используется вот уже полтора века. В честь 150-летнего юбилея этого закона ООН провозгласила текущий 2019 год «Международным годом Периодической таблицы химических элементов».

Со времен Менделеева число известных элементов удвоилось, но его детище и по сей день остается одним из самых значимых научных свершений. Впрочем, химия представляет собой уже во многом иную науку: сегодня инструментом химика часто является не мензурка и горелка, а компьютер. Как и мотивацией давно перестал быть поиск философского камня.

Моделирование химических процессов и новых материалов, квантовая теория и синтез веществ — все это современная химия, какой ее знают, к сожалению, преимущественно специалисты.

Что будет в дальнейшем происходить с таблицей Менделеева? Что такое умные материалы и фотохимия, что представляют из себя модели квантовой химии? Нужна ли химия физикам, а физика — химикам? Об этом мы поговорили с сотрудниками Объединенного института ядерных исследований в Дубне, базовых кафедр и лабораторий Физтеха и МГУ, а также с представителями Физтех-школы электроники, фотоники и молекулярной физики.



Машина времени

✍ Екатерина Жданова

В этом году ученый мир (уже имеющий на каждой станции трактир) славит Периодическую таблицу химических элементов имени Менделеева. И, в общем-то, справедливо: вряд ли у кого-то есть сомнения на этот счет. Но, вопреки общеизвестной байке, система элементов не приснилась создателю русской водки. Окунемся в хронографическую пыль развития химической науки и проследим, как таблица-юбиляр дошла до сегодняшнего вида.

История самой Периодической системы неотделима от истории открытия химических элементов. Различные прорывные теории и находки питали потребность в систематизации химических знаний. И в конце концов мы получили удобный инструмент, который не выходит из употребительной моды практически со дня публикации — уже 150 лет.

ОТКРЫВАТЕЛИ ЭЛЕМЕНТОВ

Идея химических элементов довольно стара, античные ученые с подачи Аристотеля главными по созданию всего на свете называли четыре стихии: огонь, воду, воздух и землю (эти основополагающие вещи древнегреческий Платон и назвал элементами). По разным данным, людям задолго до XVII века были известны углерод, сера, железо, олово, свинец, медь, ртуть, серебро, золото и позднее мышьяк, сурьма, висмут, цинк. Но в сознании образованных людей это были скорее вещества или сырьевые материалы — никаких фундаментальных концепций.

Далее химические открытия уже начинают пестрить именами, а некоторые необычные истории доходят до наших дней. Некоторые элементы «нашли». Например, платину испанцы считали «грязью» в мексиканском золоте — только в 1735 были обнаружены отдельные самородки, и платину назначили «белым золотом». Некоторые случайно получили. Фосфор открыл немецкий физик Хенниг Бранд в 1669 году, в по-

пытках добыть философский камень из дистиллированной человеческой мочи. Никель найден при попытке извлечь медь из «фальшивой меди» (никколита). Гелий первоначально нашли не на Земле: Джозеф Локьер и Пьер Янссен в 1868 году определили новый элемент в спектре Солнца во время затмения.

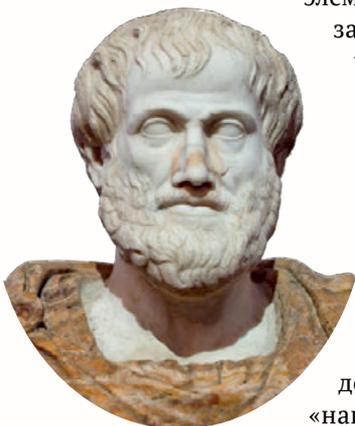
История открытия радия весьма трагична. Новый элемент открыли супруги Кюри. Они обнаружили, что отходы, остающиеся после выделения урана из урановой руды, более радиоактивны, чем чистый уран. Радиоактивность и ее опасность для организма тогда еще не были известны, и к новому элементу отнесли как к модной «фишке» — в течение 20 лет радий считался целебным, его включали в состав продуктов и косметики. Мария Кюри умерла в 1934 году от лучевой болезни, вызванной длительным воздействием радия на организм.

Для элементов тяжелее фермия (100*) история открытия звучит не очень интересно и в основном формулируется как «получен при бомбардировке мишени А снарядом В». Например, менделевий (101) получен при бомбардировке эйнштейниума гелием. Но за такой примитивной формулировкой скрывается серьезная кропотливая работа целых коллективов на пике научных разработок, часто — в течение десятилетий.

СКАНДАЛЫ, ИНТРИГИ, ТЕОРИИ

В общей науке уже в XVII веке благодаря французскому естествоиспытателю Антуану Лорану Лавуазье формируются основные столпы химического учения: понятие химического элемента, простого вещества, металлов и неметаллов.

Аристотель



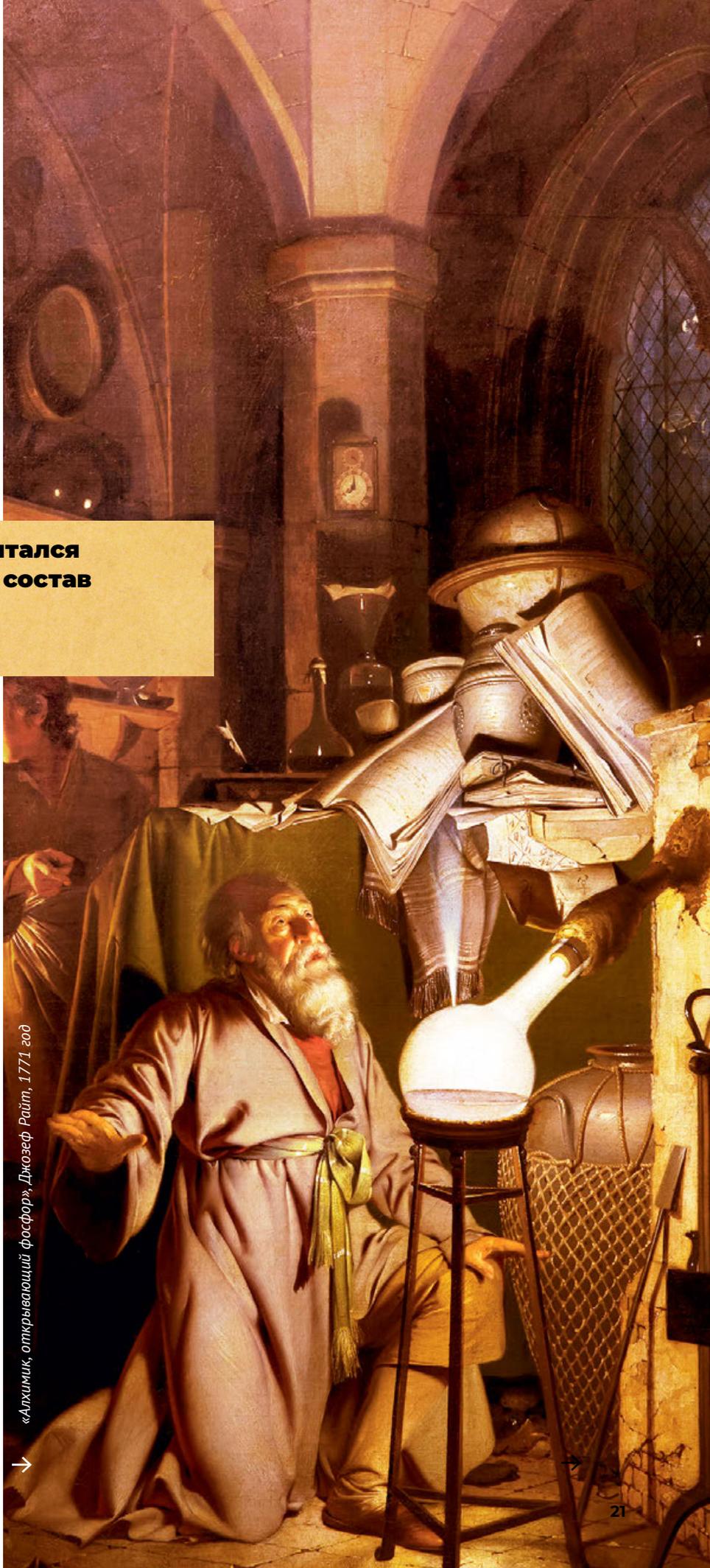
* — здесь и далее номера элементов согласно таблице Менделеева

Далее скорость обрастания химии «дельными» теориями возрастает, а на дворе уже век XIX. Английский химик Уильям Праут в 1815 году замечает, что веса всех элементов кратны весу водорода. Немец Иоганн Вольфганг Дёберейнер предпринимает в 1817 году одну из первых попыток систематизации элементов. Он строит так называемые триады — последовательности из трех сходных по химическим свойствам элементов в порядке возрастания их массы. Триады Праута можно назвать пра-прародителями групп таблицы Менделеева.

В течение 20 лет радий считался целебным, его включали в состав продуктов и косметики

Чуть ближе к обнаружению периодического закона подошел Александр Эмиль Бегуйе де Шанкуртуа, французский геолог и химик. Он заметил, что элементы со сходными свойствами не просто образуют группы — существует периодичность в заполнении таких групп. В 1863 году Шанкуртуа построил первую диаграмму, демонстрирующую его наблюдения. В диаграмме было показано, что свойства элементов повторяются через 16 единиц массы — таким образом, уже нащупывается и правило октета. Но основная публикация ученого содержала только описание наблюдений и не имела самой схемы, поэтому его вклад оставался незамеченным вплоть до открытия Периодического закона Дмитрием Менделеевым.

В 1864 году английский исследователь Джон Ньюлендс распределил шестьдесят два известных к тому моменту элемента по восьми группам на основе их физических свойств. Свою работу он назвал «законом октав» и сравнивал эту периодичность с музыкальной шкалой. Именно Ньюлендс внес в химическую науку слово «периодический». Его работа была оценена только после признания Менделеева. А окончательно мировое химическое сообщество осознало важность периода в 8 единиц только в XX веке.



«Алхимик, открывающий фосфор», Джозеф Райт, 1771 год

«Закон
октав»
Ньюлендса

1. H	8. F	15. Cl	22. Co, Ni	29. Br	36. Pd	43. I	50. Pt, Ir
2. Li	9. Na	16. K	23. Cu	30. Rb	37. Ag	44. Cs	51. Tl
3. Be	10. Mg	17. Ca	24. V	31. Sr	38. Cd	45. Ba, V	52. Pb
4. B	11. Al	18. Ti	25. Zn	32. Ce, La	39. U	46. Ta	53. Th
5. C	12. Si	19. Cr	26. In	33. Zr	40. Sn	47. W	54. Hg
6. N	13. P	20. Mn	27. As	34. Di, Mo	41. Sb	48. Nb	55. Bi
7. O	14. S	21. Fe	28. Se	35. Rb, Ru	42. Te	49. Au	56. Os
1-я	2-я	3-я	4-я	5-я	6-я	7-я	8-я
Октавы							

Еще один важный герой истории Периодической таблицы — немецкий химик Юлиус Лотар Мейер. Современник Менделеева параллельно с ним разрабатывал свою таблицу, но опубликовал работу на несколько месяцев позже (будучи при этом знакомым с работой Дмитрия Ивановича). Еще один химик, составивший аналог таблицы Менделеева, — англичанин Уильям Одлинг. Его таблица в некотором роде была даже более продвинутой: ему удалось распо-

ложить по правильным группам те элементы, с которыми у Менделеева возникли проблемы. Однако работу Одлинга не признали — его стали подзревать в том, что он, будучи секретарем Лондонского химического общества, сыграл важную роль в дискредитации «закона октав» Ньюлендса.

ИСТОРИЯ ИМЕНИННИКА

Несмотря на то, что Менделеев свою таблицу не совсем придумал-изобрел-увидел во сне, его вклад весом. Недаром мировое сообщество ничего не оспаривает в авторстве, и за рубежом Периодическая таблица носит ту же фамилию.

Дмитрий Иванович, играя в «химический солитер», располагал карточки с химическими элементами и их свойствами в порядке возрастания атомной массы. Один из удачных пасьянсов он датировал первым марта 1869 года и отправил на публикацию. Официальная презентация российскому химическому сообществу состоялась 18 марта. Работа Менделеева сразу привлекла внимание — его таблицу перепечатал немецкий журнал *Zeitschrift für Chemie*.

В своей основной публикации Менделеев продемонстрировал миру таблицу, обобщающую свойства элементов. Позднее он сформулировал и Периодический закон. Главным тестом пригодности системы оказалось открытие трех элементов в соответствии с предсказаниями Менделеева: германия (1885 год), галлия (1875 год) и скандия (1879 год).

ЭВОЛЮЦИЯ ТАБЛИЦЫ

Первоначальная система Менделеева имела некоторые недоработки. Таблица предсказывала не все — например, из нее никак не следовало существование инертных газов (сейчас это жители восьмого периода), но Дмитрий Иванович предусмотрительно оставил в таблице место для необнаруженных элементов. Позднее ученые получили возможность дополнять систему элементов своими открытиями, не нарушая общей концепции.

Далее открытия Фредерика Содди в 1913 и Генри Мозли в 1914 году позволили переопределить таблицу не через массу, а через заряд ядра — то, что сегодня и отождествляется с порядковым номером элемента.

Также в первоначальную таблицу плохо вписывались лантаноиды — в современной версии им отведена строч-

ка-сноска. Позднее, в 1943 году Глен Сиборг показал, что существует еще одна группа элементов, которой необходима такая же, — это актиноиды.

КАК КОРАБЛЬ НАЗОВЕШЬ

Не менее интересная подборка составляется из историй про то, как химические элементы получали свои имена. Самые древние элементы были известны еще до того, как обрели названия. Но для общности и красоты всех величают на один манер — с окончаниями на -um, как-бы по-латыни. Например, золото, Au — *aurum*, медь, Cu — *cuprum*.

С 1947 года назначен главный элементоназвательный орган — это Международный союз теоретической и прикладной химии (ИЮПАК, International Union of Pure and Applied Chemistry, IUPAC). Современный протокол присуждения имени следующий: открыватель предлагает имя и символ, затем специальный отдел проверяет, чтобы они не использовались ранее даже для временного названия элемента. Далее следуют пятимесячный период общественного рассмотрения и финальное «ОК» от ИЮПАКа. Затем название и символ публикуются в журнале *Pure and Applied Chemistry*.

Идеи названий черпаются из разных ресурсов. Примерно четверть таблицы поименована в честь мест открытия. Например, европий, америций, франций, московий (в честь Московской области благодаря Дубне — центру открытия 7 элементов), стронций (в честь шотландской деревни Стронтиан) и целых четыре (иттербий, иттрий, эрбий и тербий) в честь шведской шахтерской деревни Иттерби.

Есть и «легендарные» названия: титан, тантал. Никель и кобальт названы в честь «дьявола» и «коболяда» исходя из германского народного убеждения, что злые существа пробираются в шахты, чтобы заменить дорогие и похожие на вид медные и серебряные руды на эти, менее ценные. 61-й элемент, полученный искусственно, назвали прометием в 1949 году. В греческой легенде Прометей наказали вечными пытками за кражу огня у богов — это указывает на огром-

ные трудности и жертвы, необходимые для синтеза новых элементов.

Также популярны названия-эпонимы, берущие начало от имен собственных. В основном, таким образом прославляют физиков и химиков, внесших вклад в открытие и синтез химических элементов: например, кюрий, эйнштейний, фермиум. Также в таблице есть и менделевий. Интересно, что сиборгий стал первым элементом, названным в честь живущего человека — выдающегося химика, автора или соавтора открытия десяти элементов таблицы Гленна Сиборга. Второй такой элемент — оганесон — получил свое имя в 2016 году в честь нашего соотечественника, академика РАН профессора Юрия Цолаковича Оганесяна.

Немногочисленную группу образуют элементы, названные в честь «ощутимых» признаков. Из-за цвета — индий (индиго) и рубидий (глубоко красный); из-за запаха — осмий (греч. *osmo* — запах) и бром (древнегреч. *βρῶμος* — зловонный), алюминий — из-за вкуса (от греческого *alum* — кислый).

Случаи двойного названия элементов были как до существования ИЮПАК, так и после. Первая история — про элемент номер 41. В течение 150 лет он имел два названия — колумбий в Америке и ниобий в Европе, пока в 1949 году ИЮПАК окончательно не решил, что официальным названием будет ниобий. Из-за так называемых «трансфермиевых войн» — споров советских и американских ученых — двойко называли 104-й (Ku, курчатовий — у нас и Rf, резерфордий — за океаном) и 106-й элемент (Ns, нильсборий, и Na, ганий соответственно). А все из-за споров о первенстве открытия.

СВЕРХТЯЖЕЛЫЕ В БУДУЩЕМ

В XIX веке исследователи обнаружили 50 элементов, в XX — 29. В XXI веке — пока что пять. Итого в таблице сегодня проживают 118 элементов. Причем атомы элементов тяжелее урана (92) не встречаются в природе. Элементы тяжелее фермия (100) можно получить только с помощью столкновительных реакций слияния между ядрами мишени и бомбардирующих ионов в ускорителях.

Промежуточные — от 92-го до 100-го — могут накапливаться в качестве побочного продукта в ядерных реакторах.

Другими словами, в наши дни поиск новых элементов — это долгий и трудоемкий синтез с помощью ускорительной техники. Для синтеза следующих, 119 и 120 элементов, а также для изучения свойств не так давно открытых в ОИЯИ построили новый ускоритель.

Согласно закону сохранения заряда, синтезируемый элемент может иметь номер, равный сумме зарядов ядер мишени и бомбардирующего снаряда. Самый тяжелый элемент, из которого можно изготовить мишень, — калифоний-249 (98). Соответственно, для получения элемента 120 надо облучать титаном (22). Или берклий (97) титаном для синтеза номера 119. Именно на реакциях облучения титаном специализируется коллектив лаборатории ядерных реакций им. Г. Н. Флёрова в ОИЯИ, руководителем которой является Юрий Оганесян.

«Несмотря на то, что элементы 119 и 120 будут открывать новый период таблицы, никакой новой физики от них не ожидается. Внутри исследуемых ядер действуют традиционные ядерные силы, о которых довольно мало известно, но кое-что известно довольно неплохо, и скачка пока не ожидается. Какие-то новые эффекты ожидаются в районе атомных номеров 130–140, но туда еще далеко добираться», — считает Андрей Попеко, заместитель директора по научной работе лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

История Периодической системы Менделеева началась еще до него и продолжается до сих пор. А сама таблица будет пополняться новыми и новыми элементами — пока у ученых нет оснований считать ее «конечной». **ЭН**

Иллюстрация из книги: Менделеев Д. И. Основы Химии. Спб.: Типо-литография М. П. Фроловой, 1906 г.

Периодическая система элементов по группам и рядам.

Ряды.	ГРУППЫ ЭЛЕМЕНТОВ:											
	0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII			
1		Водород H 1,008										
2	Галлий He 4,0	Литий Li 7,03	Бериллий Be 9,1	Бор B 11,0	Углерод C 12,0	Азот N 14,01	Кислород O 16,00	Фтор F 19,0				
3	Щелоч. Ne 19,9	Натрий Na 23,00	Магний Mg 24,30	Алюминий Al 27,1	Кремний Si 28,2	Фосфор P 31,0	Сера S 32,06	Хлор Cl 35,45				
4	Аргон. Ar 38	Калий K 39,10	Кальций Ca 40,1	Скандий Sc 44,1	Титан Ti 48,1	Ванадий V 51,2	Хром. Cr 52,1	Марганец. Mn 55,0	Железо. Fe 55,9	Никель. Ni 59	Кобальт. Co 59	Никоель. Ni (Cu)
5		Медь Cu 63,6	Цинк Zn 65,4	Галлий Ga 70,0	Германий. Ge 72,5	Мышьяк. As 75	Селен. Se 79,2	Бром. Br 79,96				
6	Бром. Kr 81,8	Рубидий. Rb 85,5	Стронций. Sr 87,6	Йттрий. Y 89,0	Цирконий. Zr 90,6	Нобий. Nb 94,0	Молибден. Mo 96,0		Рутений. Ru 101,7	Родий. Rh 103,0	Палладий. Pd 106,5	Серебро. Ag
7		Серебро. Ag 107,90	Кадмий. Cd 112,4	Индий. In 115,0	Олово. Sn 119,0	Сурьма. Sb 120,2	Теллур. Te 127	Йод. J 127				
8	Ксенон. Xe 128	Цезий. Cs 132,9	Барий. Ba 137,4	Лантан. La 138,9	Церий. Ce 140,2							
9												
10				Иттербий. Yb 173	Тантал. Ta 183	Вольфрам. W 184			Осмиум. Os 191	Иридий. Ir 193	Платина. Pt 194,8	(Au)
11		Золото. Au 197,2	Ртуть. Hg 200,0	Таллий. Tl 204,1	Свинцовый. Pb 206,9	Висмут. Bi 208,5						
12			Радий. Ra 226		Торий. Th 232,5		Уран. U 238,5					

Вместо солеобразных окислов:
R R'O RO R²O RO³ R⁴O RO⁵ RO⁶ R'O' RO⁴

Вместо газообразных водородных соединений:
RH⁴ RH³ RH² RH

Д. Менделеев.
1869—1905.

СУЩЕСТВУЕТ ЛИ



✍ Аркадий Курамшин,
химик, доцент кафедры высокомолекулярных
и элементоорганических соединений КФУ,
лауреат Всероссийской премии «За верность
науке – 2019»

К 150-летию юбилею Периодического закона человечество пришло вполне подготовленным. Открыто 62 новых элемента, выяснен принцип организации Периодической системы, объяснен сам закон, представлено множество его графических интерпретаций. Осталось самую малость: понять, есть ли единственно верное представление «таблицы Менделеева», на каком элементе она закончится и закончится ли?

К «Международному году Периодической таблицы химических элементов» научный мир постарался окончательно заполнить таблицу. Самый тяжелый из известных в настоящее время элементов — оганесон с номером 118 —

стеме нет элементов ньютона и корония, которые Дмитрий Иванович считал более легкими, чем водород. Также в ней нет включенной в начале XX века Менделеевым нулевой группы, зато есть вынесенные из общей таблицы группы близких по

Брука, Джеймса Чедвика и Нильса Бора менделеевская формулировка «Свойства элементов, а потому и свойства образуемых ими простых и сложных тел, стоят в периодической зависимости от их атомного веса» сменилась на «Свойства

ОКОНЧАТЕЛЬНАЯ ВЕРСИЯ

замыкает седьмой ряд. Таким образом, в наши дни в ней уже не осталось пустых клеток, и у многих людей складывается впечатление, что ученым наконец удалось полностью собрать пасьянс из карточек с символами и номерами.

Правда, не исключено, что посетив в наши дни Дмитрий Иванович на то, что мы называем «таблицей Менделеева», он бы не сразу смог узнать ту, с которой начинал работать в 1869 году. Во-первых, за 150 лет число известных химических элементов удвоилось — Менделеев вывел свой закон, обладая информацией всего о 56 химических элементах. Во-вторых, за полтора века существования Периодического закона усилия физиков и химиков привели к значительным изменениям самой структуры таблицы. В современной Периодической си-

свойствам элементов — лантаноидов и актиноидов. Возможно, именно все эти метаморфозы и привели к тому, что химику-профессионалу свойственно употреблять термин «Периодическая система», а не «таблица Менделеева».

Однако как автор этого закона Менделеев общепризнан во всем мире, ведь достижение нашего соотечественника как раз и состоит в том, что он смог создать такой способ систематизации свойств элементов, который, меняясь в результате новых открытий, постоянно подтверждается.

КАК ОТОБРАЖАТЬ ПЕРИОДИЧЕСКИЙ ЗАКОН?

К современной формулировке Периодического закона пришел к 1930-м годам. В результате работ Генри Мозли, Антониуса ван ден

простых веществ, а также формы и свойства соединений элементов находятся в периодической зависимости от заряда ядер атомов элементов». Причина периодической повторяемости свойств тоже была обнаружена.

Самой Периодической системе повезло меньше. Да, конечно, она стала символом, и мы по висящей на стене таблице безошибочно узнаем кабинет химии в любой школе. Проблема в том, что в разных школах мы сможем увидеть разные версии этих таблиц.

Сегодня одновременно существуют короткопериодные и длинопериодные версии. Есть варианты, в которых водород находится в одной группе с щелочными металлами, а где-то он же стоит с галогенами. Все эти разночтения объясняются тем, что Периодиче-

ТАБЛИЦЫ МЕНДЕЛЕЕВА?

ская система изначально составлялась Менделеевым с возможностью изменения, и сейчас разные исследователи выбирают тот вариант, который больше им по душе. Что же касается высшего арбитра в спорах о законах и определениях в химии — Международного союза теоретической и прикладной химии (IUPAC), — в отношении Периодической системы эта организация ограничивается только рекомендациями, вероятно, до сих пор самостоятельно не определившись, как

просто невозможно), и их следует заменить чем-то более фундаментальным, взяв за основу электронную конфигурацию химического элемента.

Противоречия сегодняшнего дня о внешнем облике Периодической системы кроются в истории Периодического закона. Еще до идеи о том, что порядковый номер атома в таблице имеет какой-то смысл, окончательное решение о положении элемента Менделеев принимал, опираясь на химические

в 1936 году немецким ученым Эрвином Маделунгом и уточненное в 1951 году Всеволодом Клечковским правило заполнения электронных уровней и подуровней подробно объясняло принципы организации Периодической системы.

К 1940-м годам Периодическая система приобрела тот вид, который привычен для школьных кабинетов химии — короткопериодный вариант с главными и побочными группами, в котором два ряда элементов — лантаноиды

Период	Ряд	ГРУППЫ ЭЛЕМЕНТОВ										
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII			
1	1	(H)						H	He	Обозначение элемента		
2	2	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne	Атомный номер		
3	3	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar	Относительная атомная масса		
4	4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	
	5	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr			
5	6	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	
	7	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe			
6	8	Cs	Ba	La*	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	
	9	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn			
7	10	Fr	Ra	Ac**	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	
	11	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts	Og			

58	Ce	59	Pr	60	Nd	61	Pm	62	Sm	63	Eu	64	Gd	65	Tb	66	Dy	67	Ho	68	Er	69	Tm	70	Yb	71	Lu
140,12	Церий	140,907	Прометий	144,24	Неодим	[147]	Прометий	150,36	Самарий	151,96	Европий	157,25	Гадолиний	158,924	Тербий	162,50	Диспрозий	164,930	Гольмий	167,26	Эрбий	168,934	Тулий	173,04	Иттербий	174,97	Лютеций
232,038	Торий	91	Pa	92	U	93	Np	94	Pu	95	Am	96	Cm	97	Bk	98	Cf	99	Es	100	Fm	101	Md	102	No	103	Lr
		[231]	Прометий	238,03	Уран	[237]	Нептуний	[241]	Плутоний	[243]	Америций	[247]	Кюрий	[247]	Берклий	[251]	Калифорний	[254]	Эйнштейний	[257]	Фермий	[257]	Менделевий	[259]	Нобелий	[261]	Лоренсий

Короткопериодный вариант Периодической системы

должна выглядеть «единственно правильная» таблица Менделеева.

Нерешительность IUPAC связана с тем, что ученые до сих пор ведут споры об оптимальной конфигурации Периодической системы. Чаще всего это противостояние условных «химиков» и не менее условных «физиков». «Химики» считают, что расположение элементов в Периодической системе должно определяться свойствами элемента. По мнению «физиков», химические свойства — это критерий, который сложно измерить количественно (а для искусственно синтезированных трансфермиевых элементов —

свойства. Хотя и расставлял элементы по мере увеличения атомного веса.

Открытие протонов и электронов привело к созданию квантовой механики, электронных уровней и подуровней атома. Эти открытия объяснили Периодический закон и попытались внести логику в его графическое отображение. Квантовая механика позволила понять ученым, что свойства химических элементов определяются их электронной конфигурацией, а близость химических свойств — одинаковым строением внешнего электронного слоя. Предложенное

и актиноиды — вынесены из таблицы в отдельно расположенные ряды. Первоначально появление этих рядов было продиктовано элементарным удобством. Если вписать эти элементы в одну линию с другими, таблица удлинится и будет слишком неудобной для чтения — она либо не поместится на обычный лист учебника, либо будет слишком мелкой.

В настоящее время специальная профильная комиссия IUPAC пытается сконструировать таблицу, которая бы устроила всех, ну или хотя бы набрать достаточное количество аргументов в пользу своего выбора. →

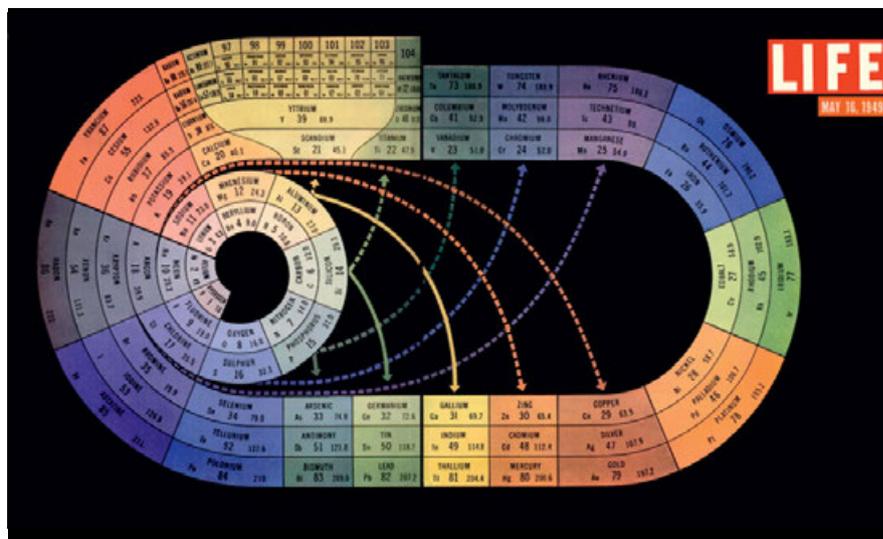
ДЛЯ ЛЮБИТЕЛЕЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Релятивистские эффекты, являющиеся следствием теории относительности, — еще один подводный камень, который осложняет попытки создать «Идеальную Периодическую систему». В химических элементах с большими порядковыми номерами электрическое поле ядра разгоняет электроны до скорости, при которой уже нельзя игнорировать релятивистские поправки.

Периодическая система, в которой проводится попытка учесть влияние СТО, тоже существует. Ее составил Пекка Пююккё, химик-теоретик из Университета Хельсинки. Он использовал учитывающую релятивистские эффекты модель для предсказания электронного строения и положения в Периодической системе элементов вплоть до номера 172, заглянув намного дальше современных возможностей синтеза сверхтяжелых трансурановых элементов.

Порядковый номер 172 неслучаен. Исследования физиков-ядерщиков говорят, что атомные ядра, в которых протоны и нейтроны будут связаны сильными взаимодействиями, могут существовать до элемента, ядро которого будет содержать 172 протона. Системы с большим числом протонов просто не смогут быть стабилизированы сильными взаимодействиями, то есть на основании предсказаний можно говорить о том, что у Периодической системы все же есть граница.

Точка в подобного рода спорах может быть поставлена только после того, как соответствующие элементы будут синтезированы, а их электронная конфигурация — изучена. Сам Пююккё полагает, что возможности для проверки «надстроенной» им таблицы Менделеева появятся нескоро. Он надеется на то, что до конца XXI века будут получены элементы вплоть до номера 130. Однако не исключена и вероятность того, что физики-ядерщики не смогут синтезировать



Визуализация Периодической системы на обложке журнала LIFE от 16 мая 1949 года

достаточное количество сверхтяжелых атомов для верификации выкладок Пююккё. В таком случае работы финского физика останутся теоретическими моделями и игрой ума, хотя интересными и искусными, но абсолютно бесполезными.

ПОЯВИТСЯ ЛИ ТАБЛИЦА, КОТОРАЯ ВСЕХ УСТРОИТ?

Кроме более-менее привычных графических форм отображения Периодического закона с 8, 18 и 32 группами, можно найти и куда более экзотические варианты — трехмерные, спиралевидные, круговые и цилиндрические. Глядя на некоторые, кажется, что их авторы старались отойти как можно дальше от таблицы, предложенной Менделеевым, сохранив при этом верность Периодическому закону.

То, что дискуссия о виде Периодической системы в рамках традиционных ее форм идет до сих пор, более того — то, что до сих пор появляются новые варианты расположения атомов, наводит на мысль, что вряд ли когда-то появится таблица Менделеева, которая останется единственной и будет удовлетворять всех. Даже если IUPAC перейдет от рекомендаций к тому, что назовет правильной только одну из многочисленных вариаций Периодических систем, химики продолжают пользоваться

той версией, которая им ближе, объясняя это, например, тем, что не согласны видеть лоренсий в третьей группе или гелий — в группе с типичными металлами. Осознавая это, комитет IUPAC по работе над формой Периодической системы, членами которого являются и Рестрепо, и Скерри, вероятно, никогда не назовет одну из систем правильной, а все остальные — неправильными.

Конечно, ситуация с одновременным сосуществованием нескольких вариантов «таблицы Менделеева» слегка обескураживает. Однако не нужно забывать, что Периодическая система — просто графическое отображение Периодического закона. Говоря образно — Периодический закон можно сравнить со статуей, существующей в трех измерениях, а различного рода Периодические системы и таблицы — проекции или тени этой трехмерной фигуры, среди которых можно бесспорно выбрать ту, которая нравится больше всего, но невозможно и нелогично говорить о единственной истинной. Химии как науке не чужды компромиссы, и в химических аудиториях сможет найти место нескольким Периодическим системам — лишь бы они помогали исследователям в работе. **ЭН**

Больше информации — на zanauku.mipt.ru.

ХИМИЯ — ФИЗИКАМ

Во времена становления Физтеха отцы-основатели заложили фундамент будущего химического образования, хорошо понимая роль этой естественнонаучной области. Недаром среди них был единственный советский лауреат Нобелевской премии по химии Николай Семёнов. Кафедра общей химии была в числе первых появившихся в стенах МФТИ, а самая большая лекционная аудитория в кампусе по сей день называется «Большой химической».

Первым заведующим кафедрой общей химии стал видный советский ученый Владимир Фомин. Он же разработал программу курса общей химии и подготовил первый практикум, рассчитанный на еженедельные четырехчасовые лабораторные занятия. Интересно, что вплоть до 1990-х годов канва изучения этого предмета первокурсниками Физтеха не сильно менялась. Во главе угла стоял периодический закон Д. И. Менделеева: обозревались группы химических элементов и их свойства; также изучались кинетика и термехимия. К тому же в те годы на кафедре велась активная научная работа, создавались исследовательские установки, проводились эксперименты. В 1957 году, почти сразу после превращения Физико-технического факультета МГУ в отдельный институт создается четвертый факультет нового вуза — Физико-химический, или просто физхим, переживший множество преобразований, но существующий и сегодня. Сейчас Институт химической физики им. Н. Н. Семёнова является одной из базовых кафедр физхима. Ею до последних лет жизни заведовал сам Николай Николаевич. Можно сказать, что именно на основе этой кафедры и был создан когда-то факультет. Поэтому не стоит удивляться насущной потребности в химическом образовании на Физтехе еще 60 лет назад.

ОТ СЕМЁНОВА ДО НАШИХ ДНЕЙ



Простая перегонка органического вещества

Рубикон кафедры химии

Химия — одна из фундаментальных наук. Она преподается во всех технических вузах, поскольку является неотъемлемой частью естественнонаучного образования. Зрелое понимание большинства процессов не сформируется полностью без знания основ химии. Многие физические законы имеют прямое отношение к строению и химическим свойствам веществ. Так что химия и физика взаимно дополняют друг друга, и без этого дополнения представления об окружающем нас мире и не только не будут полны.

Курс химии, который читался на Физтехе до недавнего времени, достаточно стандартен для нехимических вузов. По мнению сотрудников департамента химии, и сегодня она преподается для всех факультетов, кроме физхима, на достаточно простом уровне. Но нельзя забывать и о том, что уровень знаний по химии среди абитуриентов очень низкий.

«Для нас это настоящая беда. Нам приходится зачастую опускаться до нулевого уровня. И при этом нельзя все-таки вычеркивать химию из учебного плана образовательных программ, потому что тогда в будущем мы получим исследователей не слишком высокого уровня. Определенный вклад в образование дает каждый предмет, который закладывается в программу. Другой вопрос, что курс нужно адаптировать и под начальные знания первокурсников на разных образовательных программах, и под задачи Физтех-школ», — считает заместитель директора Физтех-школы электроники, фотоники и молекулярной физики по учебно-методической работе Владимир Талисманов.

КОГДА КОЛИЧЕСТВО ПЕРЕХОДИТ В КАЧЕСТВО

В результате изменений учебных планов в 2000-х химию преподавали для четырех факультетов: ФМХФ, ФПФЭ, ФАКИ и ФФКЭ. С тех пор стандартный семестровый непрофильный курс был модифицирован. Сегодня практически под каждую образовательную программу (факультеты) создан свой особенный курс, в котором учтены пожелания Физтех-школ.

Для студентов физхима (относится к Физтех-школе электроники, фотоники и молекулярной физики — прим. ред.), сейчас преподается расширенный восьмичасовой курс общей и неорганической химии осенью, а весной — курс органической химии: два часа лекций, два часа семинаров и четыре часа лабораторных работ в неделю. Раньше курс читался в виде четырехчасовых лекций. Не было ни семинаров, ни лабораторных работ. Нынешний практикум по органической химии, который теперь состоит из четырнадцати лабораторных работ, создан почти с нуля. Также был существенно модернизирован практикум по общей химии. Он превратился в курс общей и неорганической химии, куда добавилось еще восемь лабораторных работ. Как говорят представители департамента, мало какой химический вуз сможет похвастаться такими практикумами.

Помимо этого, для второкурсников этого направления департамент химии разработал еще один новый курс. Первоначально он назывался «Аналитическая химия», но, поскольку методы исследования вышли за рамки чисто химических и добавились физико-химические, курс переименовали в «Методы исследования веществ и материалов». Он укомплектован на весь семестр четырнадцатью лабораторными работами.

С текущего учебного года для Факультета проблем физики и энергетики (относится к Физтех-школе фундаментальной и прикладной физики — прим. ред.) с целью более →



ПРЯМАЯ РЕЧЬ

Владимир Талисманов, к. х. н. заместитель директора Физтех-школы электроники, фотоники и молекулярной физики по учебно-методической работе:

— Как известно, физтехи достаточно прохладно относятся к лекциям. Мы в процессе работы пришли к выводу, что для тех факультетов, чьи студенты владеют недостаточными начальными знаниями по химии, лучший результат будут давать именно семинарские занятия. Поэтому курс построен следующим образом: он остался четырехчасовым, но в этом курсе лабораторные работы занимают три часа в неделю, и один час — это семинар. То, что студентам лекционный материал докладывается в виде семинарского занятия, в котором есть возможность пообщаться с преподавателем, сразу задать вопросы, показало хороший результат. Как можно видеть, кафедра или теперь уже департамент общей химии развивается. Яркий пример этого — то, что вместо восьми старых кафедральных работ сейчас мы имеем в общей сложности 48 лабораторных работ.



глубокого изучения запустили годовой курс химии вместо семестрового. По просьбе ученого совета Физтех-школы были добавлены новые профильные темы. Это оказалось полезным еще и потому, что будущие студенты-физики в своих школах зачастую лишены возможности изучать химию, и многие из них приходят в МФТИ с нулевыми знаниями по этому предмету. А освоение вузовского курса химии все-таки предполагает наличие начальных знаний.

Также был значительно переработан курс химии для Факультета аэрофизики и космических исследований (ФАКИ) (относится к Физтех-школе аэрокосмических технологий — *прим. ред.*), с учетом специфики обучения включен необходимый материал, актуальный для применений в экологических исследованиях и исследованиях океана. Этот курс лекций был разработан преподавателем, который ведет научные исследования именно на ФАКИ. Видоизменился и лабораторный практикум.

Единственный факультет, который идет по своей старой программе без изменений, — это Факультет физической и квантовой электроники (относится к Физтех-школе электроники, фотоники и молекулярной физики — *прим. ред.*). Здесь схема обучения химии предполагает лекционный курс и отдельные профилированные темы, связанные с материалами и процессами для электроники.

ВСЯ ВЛАСТЬ СОВЕТАМ СТУДЕНТАМ

Департамент химии ждет отзывов от самих студентов. Поскольку учебные программы активно меняются, преподаватели хотят понимать требования не только Физтех-школ, но и тех, кого они учат.

«Студентов мы стараемся слышать. Принимаем обратную связь и пытаемся продумывать работу с ребятами так, чтобы им было интересно. Мы понимаем, что первокурсники сильно загружены, и изучение химии для тех, кому ее плохо преподавали в школе, — не самое простое дело. Многие хотели бы от этой программы вовсе отказаться, но студенту первого курса очень тяжело понять, будут ли ему эти знания нужны в будущем. Опрос всего факультета проблем физики и энергетики по поводу химии показал, что студенты старших курсов, придя на базовые кафедры и начав заниматься полноценной научной работой, говорят, что химия им нужна. И преподаватели базовых кафедр говорят то же», — рассказывает Владимир Талисманов.

ЧТО ДЕНЬ ГРЯДУЩИЙ НАМ НЕСЕТ

Преподавательский состав за последние годы частично обновился. В департамент приходят молодые сотрудники. По словам представителей департамента, если оставшиеся факультеты захотят вернуть химию в свой образовательный процесс, коллеги будут очень рады, но для этого понадобится расширение педсостава. *«Нужно будет набирать людей со стороны, что очень хорошо. Можно будет влить молодую кровь и приобрести дополнительное оборудование, которое в последние годы мы уже хорошо обновили», — говорит он.*

Однако ожидания должны быть правильными. Студенты-первокурсники проходят базовый курс и выполняют достаточно простые задачи на лабораторном практикуме. Не стоит ожидать сразу работы со спектрометрами или другим сложным оборудованием. Студенты должны вначале пройти через базовые химические задачи, равно как и на кафедре общей физики.

Взятие навески на аналитических весах

Дорогу магистрам

Физхим — это один из старейших физических факультетов МФТИ. Химическое образование на ФМХФ есть, и достаточно глубокое, но все-таки дополнительно к физическому. Базовые факультетские дисциплины в большей степени физические, а тематики кандидатских диссертаций на ФМХФ проходят исключительно по направлению «физика и астрономия»: физика конденсированного состояния, физика плазмы, химическая физика, горение и взрыв.

МОСКВА, ЛЕНИНСКИЙ ПРОСПЕКТ

Углубление химического образования студентов на физхиме происходит на базовых кафедрах. И основной базовой кафедрой, которая до сего момента символизировала физико-химическое образование на Физтехе, является кафедра физики супрамолекулярных систем и нанофотоники под руководством академика Михаила Алфимова, расположенная в Центре фотохимии РАН. С учетом специфики исследований кафедры, ее можно назвать наиболее химической, хотя и там задачи в большей степени физические: химические объекты здесь изучают физическими методами.

Есть некоторые направленности, которые считаются и химическими, и физическими. В частности, традиционная для физхима направленность — химическая физика горения и взрыва, основанная академиком и нобелевским лауреатом Николаем Семёновым.

В целом же в рамках специальности физхима охвачена большая часть ведущих химических академических институтов Москвы. Среди базовых организаций присутствуют Институт химической физики, Институт проблем химической физики, Институт энергетических проблем химической физики и другие.

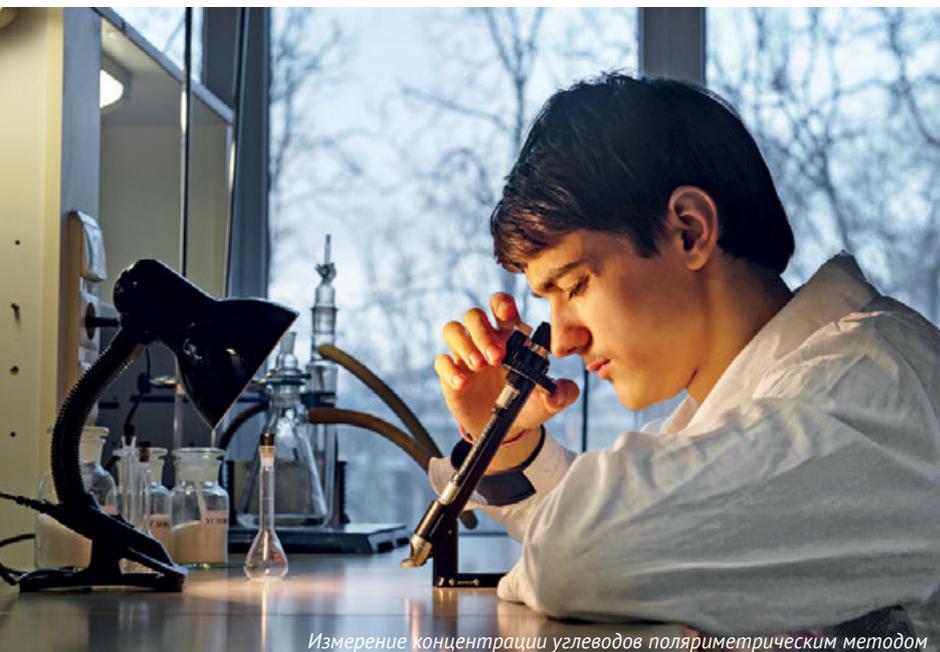
С появлением болонской системы в магистратуру Физтеха стали поступать студенты и из других вузов, что позволило набирать



Синтез циклогексена дегидратацией циклогеканола

на физхим также и химиков. Ведь химических задач на базовых кафедрах факультета все равно достаточно много, и с ними проще справиться бакалаврам химии. В связи с этим прошедшим летом было открыто еще две базовых кафедры: при Институте общей и неорганической химии им. Н. С. Курнакова и при Институте элементоорганических соединений им. А. Н. Несмеянова РАН. Пока сюда можно попасть только в рамках магистерской подготовки и аспирантуры.

В магистратуру ФМХФ приходят бакалавры-химики из МГУ, РХТУ, МИТХТ и региональных вузов. Владея химическими компетенциями и опытом экспериментальной работы, они оказываются полезны базовым кафедрам. Они могут решить не каждую задачу, с которой справятся бакалавры-физтехи, но верно и обратное. Кафедры и сотрудники Физтех-школы отдают себе в этом отчет, но важно, что это начинание дает положительный результат. Такие «внешние» магистранты мотивированны, делают хорошие научные работы, и многие затем идут в аспирантуру.



Измерение концентрации углеводов поляриметрическим методом

→ НОВАЯ ЭНЕРГЕТИКА

С открытием на Физтехе Арктической программы возникла актуальная потребность готовить на ФМХФ магистров в области новой энергетики, дисциплины которой предназначены для студентов ФЭФМ, специализирующихся в области новых энергетических технологий, в том числе пригодных для использования в экстремальном диапазоне температур от -50 до $+30^\circ$. Будут рассматриваться современные теоретические представления о термодинамике и кинетике электродных процессов в контакте с твердым и жидким электролитом, строении межфазной границы электрод/электролит, вопросы материаловедения гальванических элементов. Магистранты будут знакомиться с разными типами источников энергии, в которых химическая, солнечная и механическая энергии преобразуются в электрическую, а также с принципами работы накопителей энергии, в том числе суперконденсаторов и аккумуляторов. Наряду с традиционными вопросами фотовольтаики в программе магистратуры рассматриваются проблемы новых систем второго и третьего поколений.

По словам исполнительного директора Института арктических технологий МФТИ Юрия Васильева, Физтех заинтересован в подготовке магистров по этой программе и поддерживает ее создание, поскольку тематика читаемых курсов и будущих магистерских диссертаций полностью соответствует исследованиям лабораторий Центра автономной энергетики. Выпускники программы смогут работать в лабораториях Института арктических технологий и на предприятиях промышленных партнеров.



ПРЯМАЯ РЕЧЬ

Вячеслав Некипелов, д. х. н., заместитель директора ФЭФМ по развитию направления «химическая физика»:

— В развитии магистратуры по направлению возобновляемой, водородной и электрохимической энергетики заинтересованы ключевые энергетические промышленные партнеры МФТИ, такие как ГК «Росатом» и ООО «ИнЭнерджи». Программа магистратуры реализуется при активном участии Института арктических технологий МФТИ и Института проблем химической физики РАН, при котором действует наша базовая кафедра физики организованных структур и химических процессов.

Химический набор

Сотрудники департамента химии заняты и в работе с абитуриентами. Их основная задача на этом поприще — разработка методических пособий для Заочной физико-технической школы (ЗФТШ) при МФТИ. Ведь помимо физики и математики, которые традиционно преподавались в ЗФТШ, уже несколько лет здесь можно изучать и химию. Также сотрудники департамента готовят видеолекции для учеников заочной школы.

Уже четыре года Физтех является главным организатором Открытой химической олимпиады (ОХО), которая входит в перечень РСОШ, поэтому дает те же преференции при поступлении в вузы, что и известная олимпиада «Физтех» по математике и физике. Сотрудники департамента химии не только участвуют в создании заданий, но и проводят ОХО в городах России. Олимпиада теоретическая, в ней нет экспериментального этапа, как на Всероссийской, и состоит она из двух туров: отборочного и очного.

Однако стоит помнить, что Физтех — это физический вуз. И физику здесь учить придется даже химикам. *«Те объекты, которые исследуются на наших базовых кафедрах, связаны с химией. Поэтому мы рады, когда приходят ребята, увлеченные химией. И, как показала практика, зачисление на физхим по результатам сдачи химии дает положительный эффект, — уточняет Владимир Талисманов. — Смысл следующий: мы хотим привлечь на Физтех ребят, знающих химию. Им поначалу тяжело дается изучение курса физики. Но они учатся, и их мотивации хватает, чтобы буквально за год выйти на уровень тех, кто учил физику для поступления. Кафедра общей физики, в свою очередь, старается помочь ребятам выйти на достойный уровень. Так что, на мой взгляд, эксперимент с приемом на Физтех по результатам ЕГЭ по химии вполне успешен».* **ЭН**

Качественная реакция на присутствие в пробе катионов лития



Новые лаборатории

В 2018 году в Физтех-школе электроники, фотоники и молекулярной физики появилось две новых лаборатории, созданных совместно с Российской академией наук. Едва открывшись, новые лаборатории МФТИ уже приступили к работе, которая во многом будет дополнять деятельность в стенах академических институтов, давая студентам Физтеха поучаствовать в передовой науке, не выходя из кампуса.

Лаборатория наноуглеродных материалов

Создана в 2018 году совместно с Институтом общей физики им. А. М. Прохорова РАН. Руководитель: Елена Образцова, к. ф.-м. н., заведующая лабораторией спектроскопии наноматериалов ИОФ РАН.

«Изначально наша лаборатория работала в области оптической спектроскопии различных форм наноуглерода, — рассказывает Елена Образцова. — Позже мы стали заниматься синтезом и разработкой применений объектов наших исследований: углеродных нанотрубок и графена. Мы одними из первых в России начали синтезировать одностенные углеродные нанотрубки в 1997 году. В 2006 году мы научились синтезировать и графен. Это направление развивает сотрудник лаборатории Максим Рыбин. На сегодняшний день наш графен достаточно чистый и структурно-совершенный. В нем меньше дефектов и складок, чем у образцов, синтезированных в других российских группах».

В лаборатории сейчас три основных направления работ. Первое — это применение нанотрубок и графена в лазерах. Оказывается, они могут быть сверхбыстрыми модуляторами световых пучков. Если в резонатор лазера любого типа, генерирующего непрерывное излучение, поместить пленку из нанотрубок — насыщающийся поглотитель, то на выходе можно сформировать цуг фемтосекундных импульсов. Такие поглотители работают в очень широком спектральном диапазоне.

«Наша группа начала этим заниматься в 2004 году и была второй в мире, кто смог реализовать этот механизм на одностенных углеродных нанотрубках. С тех пор потребность в таких элементах очень возросла. Нанотрубки мы подбираем так, чтобы они

поглощали излучение на рабочей длине волны лазера. И для многих длин волн, от 0,9 до 2,1 микрона, нами сделаны такие поглотители и реализован режим самосинхронизации мод в лазерах. Минимальная длительность импульса достигла 100 фемтосекунд», — уточняет Елена Образцова.

Каждая нанотрубка имеет свою электронную структуру и спектр поглощения, которые определяются ее геометрией: диаметром и углом спирального закручивания вокруг оси. Более того, нанотрубки в зависимости от того, как они свернуты, могут быть металлами или полупроводниками. Разделение металлических и полупроводниковых нанотрубок — чисто химическая задача. И сотрудница лаборатории Валентина Ерёмкина — единственный на сегодня специалист в России, освоивший процесс масштабного разделения нанотрубок методом водно-полимерных фаз.

Второе применение нанотрубок, над которым работают в лаборатории, — создание проводящих прозрачных электродов для солнечных батарей и для GaN-светодиодов. Здесь собираются делать GaN-диоды с верхним прозрачным электродом в виде пленки из нанотрубок.

GaN-светодиоды, которые излучают в фиолетовой и UV-области, могут, например, заменить опасные для здоровья человека ртутные лампы. Пленки из нанотрубок хорошо подходят для таких задач, так как прозрачны и проводят ток. Однако они обладают заметной резистивностью,



Елена Образцова



что приводит к тепловым потерям в таком электроде. В ходе исследований было обнаружено, что понизить резистивность можно при помощи допирования нанотрубок различными примесями, повышая электронную или дырочную проводимость материала.

«Мы помещаем нанотрубки в камеру, где испаряется вещество, которым хотим их допировать. Молекулы проникают внутрь трубки, в результате в ней возникают цепочки и даже кристаллы из инородных атомов. Электроны нанотрубки переходят на

На сегодняшний день наш графен достаточно чистый и структурно-совершенный

них, или наоборот — они отдают электроны трубке. Такой процесс называется переносом заряда. Оказывается, что за счет допирования у нанотрубок резистивность падает на порядок. При этом ее исходная высокая прозрачность даже возрастает на несколько процентов. Таким образом мы получаем проводящий прозрачный электрод», — говорит Елена Образцова.

В этой сфере остается еще большое поле для исследований. Сотрудниками лаборатории осуществлено легирование нанотрубок р-типа, реализация допирования п-типа пока находится в разработке. В дальнейшем же предполагается создавать р-п-переходы с помощью послойного

нанесения нанотрубок с различным типом допирования. На основе последних можно будет делать миниатюрные микроэлектронные элементы, например, транзисторы. Над этим успешно работает сотрудник лаборатории Александр Тонких. Полученные параметры пленок из заполненных углеродных нанотрубок сегодня сравнимы с параметрами оксида индия-олова — наиболее популярного в оптоэлектронике материала для проводящих прозрачных электродов.

Другое достоинство пленок из нанотрубок — гибкость, что позволяет использовать их при создании гибкой электроники. В планах лаборатории стоит создание гибких приборов на основе пленок из нанотрубок с применением печатных технологий. В первую очередь, речь будет идти о матрицах детекторов для систем терагерцового видения и, возможно, о химических сенсорах. Здесь исследования проводятся под руководством заместителя заведующего лабораторией Георгия Фёдорова.

Третье направление работы — создание композитов. Нанотрубки обладают множеством достоинств: они прочные, оптически прозрачные, термостойкие и т. д. Но если взять комок из нанотрубок, никаких описанных качеств не будет. *«Для проявления всех полезных свойств нанотрубок необходимо ввести их в полимерные матрицы. И мы планируем делать композиты с хорошими механическими и оптическими свойствами», —* заключает Елена Образцова.



Владимир Разумов

Лаборатория фотоники квантово-размерных структур

Создана в 2018 году совместно с Институтом проблем химической физики РАН. Руководитель: Владимир Разумов, член-корр. РАН, д. ф.-м. н., профессор, заведующий лабораторией фотоники наноразмерных структур ИПХФ РАН.

Люминофоры обладают свойством излучать свет при разных воздействиях на них: например, электрическом или радиационном. Сегодня люминофоры окружают нас повсюду. Фактически их существует два типа. В первом случае люминесцирующим веществом может быть атом с определенным спектром излучения, который можно подобрать в зависимости от того, в какой области нужно

получить излучение. Люминофор в таком случае представляет собой матрицу, в которую внедрены эти атомы. Эта матрица поглощает свет, а излучают его уже люминесцирующие атомы.

Второй класс люминофоров, который стал активно изучаться в середине прошлого века, — это молекулярные люминофоры. В этом случае излучающим элементом является не атом, а сложным образом

устроенная молекула. И в зависимости от ее структуры можно получить излучение с определенными свойствами. Создание таких молекул осуществляется путем химического дизайна, поскольку они должны обладать не только люминесцентными, но и заданными эксплуатационными свойствами.

Около 35 лет назад учеными из Государственного оптического института был открыт новый класс люминофоров, в которых спектральные свойства формируются не за счет выбора атомных структур или химического дизайна каких-то сложных люминофорных молекул, а за счет «квантово-размерного эффекта».

«Если вы берете массивный полупроводник, у него есть валентная зона, зона проводимости и запрещенная зона, которая определяет длину волны люминесценции. У разных полупроводников разная запрещенная зона и свой спектр излучения. Суть этого эффекта состоит в следующем. При поглощении фотона в полупроводнике возникают две квазичастицы: электрон и дырка. Если полупроводник пространственно ограничен, то энергетические уровни этих квазичастиц, как учит квантовая механика, являются дискретными. Пока размер полупроводника является макроскопическим, расстояние между уровнями является настолько малым, что они фактически образуют сплошной спектр и дискретность явно не проявляется. При уменьшении же размера полупроводника до нескольких нанометров, расстояние между энергетическими уровнями становится существенным. Поскольку расстояние между уровнями напрямую связано со спектрами поглощения и люминесценции, то оказывается, что последние для полупроводниковых наночастиц оказываются размерно зависимыми», — рассказывает руководитель лаборатории Владимир Разумов.

Однако долгое время этот тип люминофоров не использовался из-за сложности синтеза. Лишь в 1993 году группа американских ученых придумала простой способ их получения методом коллоидного синтеза. Он позволяет получать так называемые коллоидные квантовые точки — полупроводниковые наночастицы с очень узким распределением по размеру.

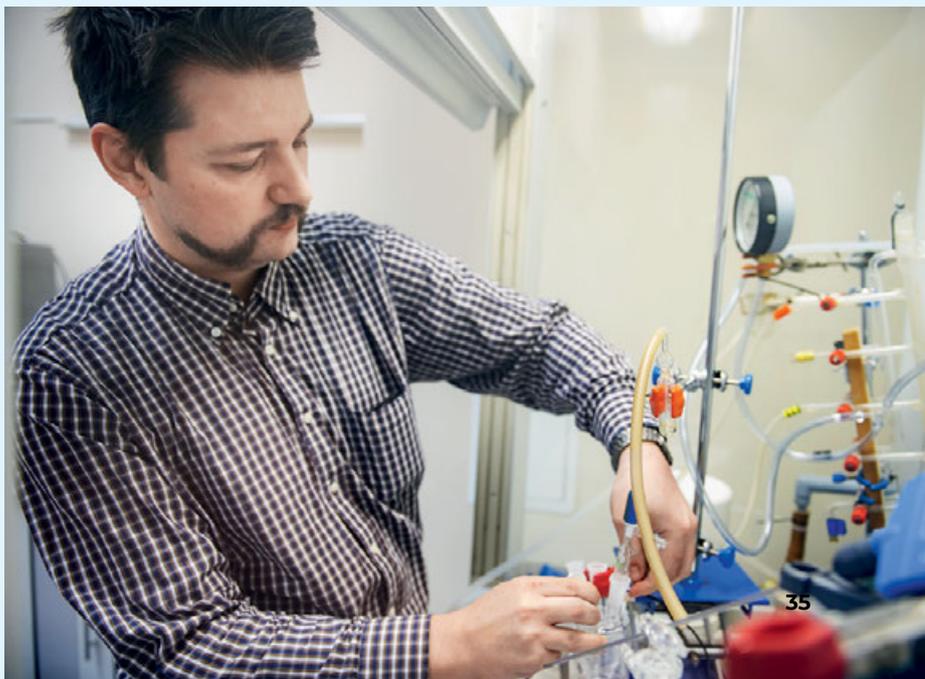
Области их применения широки. На основе квантовых точек делают солнечные батареи и светоизлучающие системы, та-

кие как активные жидкокристаллические дисплеи. Также на их основе возможно создание фотодетекторов в инфракрасной области, среди которых наиболее распространенными являются полупроводниковые фотоэлектрические структуры. У них сплошная энергетическая зона, и при поглощении света избыток энергии переходит в тепло, что и становится источником теплового шума.

На Физтехе мы будем заниматься синтезом и характеризацией квантовых точек и их пленок

«В случае с квантовыми точками сплошных зон нет, и возможно реализовать ситуацию, при которой избыточной тепловой энергии некуда сброситься. Таким образом вы уходите от теплового шума и множите количество носителей заряда, — поясняет Владимир Разумов. — К тому же, в отличие от классических полупроводниковых детекторов, которые чувствительны в широком диапазоне, в случае квантовых точек мы можем выделить узкую зону чувствительности. За счет этого повышается отношение сигнала к шуму. В моей лаборатории в Черноголовке мы 10 лет работаем над получением квантовых точек, разработкой методов синтеза, исследованием их свойств. Задел сделан большой. На Физтехе мы будем заниматься синтезом и характеризацией квантовых точек и их пленок, постараемся показать принцип работы этих объектов в качестве составных частей фотодетекторов и экранов». **ЭН**

Сотрудник лаборатории Иван Шуклов проводит синтез квантовых точек



Умные полимеры

Доставить лекарство в нужную точку организма, распылить солнечную батарею на крыше, решить проблему нехватки пресной воды и создать импланты, неотличимые по свойствам от оригинала, — все это позволят сделать умные полимеры. О достигнутых результатах и перспективах этого направления рассказал заведующий лабораторией инженерного материаловедения МГУ и лабораторией функциональных органических и гибридных материалов МФТИ Дмитрий Иванов.

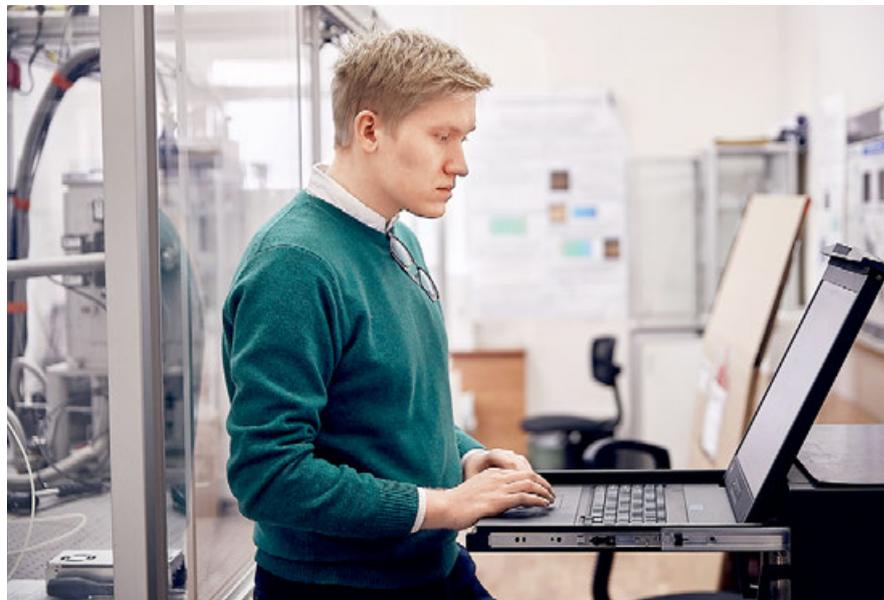
Умные полимеры — это часть умных материалов, которые обладают способностью сильно реагировать на какое-то внешнее воздействие. Они могут резко изменить форму или состояние при перемене температуры, влажности, кислотности, освещения. Эти материалы могут иметь очень сильный отклик даже на самое малое внешнее возмущение. Например, можно излучением вызывать изменение в конформации полимерных цепочек, которое приведет к глобальной перестройке всей структуры полимера. Классические материалы — сплавы, неорганика — состоят из достаточно простых кирпичиков: атомов, ионов или соединений из нескольких атомов, для них подобные сильные отклики на малое внешнее возмущение практически недостижимы.

«Область, в которой мы работаем, — сложные жидкости. Это другой термин, который обозначает умные материалы. В каждом элементарном кирпичике такого материала могут быть десятки и даже сотни атомов, которые составляют, например, мономер. Из этих мономеров мы выстраиваем полимерную цепочку. То есть сам по себе элементарный кирпичик нашего материала может быть достаточно сложным, и именно это обуславливает сложность взаимодействия между ними. В силу того, что материал организован в широком диапазоне шкал от ангстремов до сотен нанометров, он обладает богатой палитрой возможных взаимодействий», — рассказывает директор исследований при французском Национальном центре по научным исследованиям, заведующий лабораторией инженерного материаловедения МГУ и лабораторией функциональных органических и гибридных материалов МФТИ Дмитрий Иванов.

Сейчас, например, развивается целое направление, связанное с микророботами на основе мягких сред. Мягкие среды — еще одно название этих материалов. Действием определенного облучения можно вызывать механические движения этих микрообъектов, вынуждая их перемещаться в пространстве в заданном направлении.

«Как это может достигаться? Грубо говоря, полимер является растворимым в воде при температуре

Егор Берсенеv
за работой



ниже 31° . Но как только температура превысила 31° , он претерпевает фазовое превращение, наступает коллапс цепей, приводящий к резкому уменьшению размеров макромолекулярных цепочек. На основе такого полимера с содержанием, например, наночастиц золота создаются так называемые микропльвуны. И в этом случае с помощью инфракрасного лазера можно целенаправленно вызвать локальный нагрев наночастиц. Вследствие этого полимерная матрица начнет резко сокращаться и станет пульсированно двигаться. Предполагается, что такие пльвуны будут играть большую роль в наномедицине», — поясняет сотрудник лаборатории Егор Берсенеv.

Другой пример — создание специальных многослойных микро- и даже наноразмерных пузырей для доставки лекарств. Направляя на эту оболочку излучение определенной длины волны, можно вызвать фазовый переход, — пузырь откроется, и биологически активная субстанция, которая находилась внутри пузыря, выйдет. То есть вы контролируемо высвобождаете биологически активное вещество.

КАК ЭТО БЫЛО

Полимерная революция началась в 40-х годах, когда люди впервые отказались от естественных, натуральных материалов и синтезировали то, чего никогда в природе не было, — появились чисто синтетические материалы. Яркий пример — нейлоны, полиамиды или полиэтилен. Такой чисто искусственный материал, как полиэтилен оказался уникальным по своим структурам и механическим свойствам. Изначально полимеры привлекли внимание благодаря своей механике: полимерные волокна полиэтилена прочнее стали на единицу веса. Корреляции между структурами материалов и их

Можно сделать и так, что полиэтилен станет пуленепробиваемым материалом

свойствами стали выделяться в целое направление материаловедения, ученые начали специально заниматься изучением таких корреляций для создания новых функциональных материалов.

Обычный легкий мягкий пластик обладает очень интересным комплексом свойств, которые определяются его структурой и условиями производства. Можно произвести полиэтилен так, что получится пакет, который вам дают в супермаркете, — он обладает достаточно скромными механическими свойствами. Но можно сделать и так, что полиэтилен станет пуленепробиваемым материалом. Это хорошо показывает влияние структуры на свойства.

Здесь стоит упомянуть, что большое количество биологических соединений от ДНК до белков — тоже полимеры. И сделаны они очень хитро, потому что их трехмерная структура, которая спонтанно образуется после синтеза, полностью определяет их свойства.

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ПОЛИМЕРЫ

В 60-е считалось, что с годами будет появляться все больше и больше специализированных полимеров. Наиболее известный пример такого полимера — нейлон. Ни один другой полимер не воспроизводит механические свойства нейлона, и было件ятно, что нейлон останется уникальным очень долго. Он был ярким примером такой специализации. Это верхушка пирамиды полимеров. Основу же ее составляют так называемые commodity plastics — полимеры, которые производятся многими миллионами тонн: полиолефины, эластомеры, синтетические смолы. И ученые полагали, что с годами эта пирамида будет меняться, что будет появляться все больше и больше специализированных поли-

→



Сотрудники лаборатории инженерного материаловедения МГУ

меров, и понемногу промышленность уменьшит долю многотоннажного производства.

«Действительность полностью опровергла это предсказание. Область специализированных полимеров с годами не стала расти. И это связано с тем, что весь процессинг сейчас оптимизирован под отдельные полимеры, например, под полипропилен. Перестраивать производство очень дорого. Поэтому основное усилие было направлено на то, чтобы приобрести все более тонкий контроль над макромолекулярной структурой и свойствами этого полимера. То есть сегодня полипропилен — это совсем не тот же материал, который был несколько десятилетий назад, а целое семейство разных сополимеров. Но, конечно, очень интересно развивать полимеры также под специальные применения», — считает Дмитрий Иванов.

ЛИШНЯЯ СОЛЬ

Когда говорят про опреснение воды, имеют в виду в первую очередь уменьшение концентрации ионов натрия. Именно высокая его концентрация является токсическим фактором для организма в силу того, что в клетках поддерживается некий градиент кон-

центрации натрия и калия. Если пить воду с высоким содержанием катионов натрия, организм не справится с осмотическим шоком, и человек погибнет.

«Сейчас на Физтехе идет международный проект, в котором мы пытаемся создать синтетические полимеры, имеющие селективное сродство с катионами щелочных металлов. И одна из целей этого проекта — создать новое поколение систем для

опреснения воды, — говорит Егор Берсенева. — Химически удалить ионы натрия из водной среды невозможно. Наши полимеры — это достаточно простые макромолекулы, имеющие в своем составе электростатические заряды, так называемые полиэлектролиты.

Но их особенность в том, что они могут селективным образом связывать катионы натрия в воде, после чего выпадают в осадок, и вода опресняется».

Идея заключается в использовании полиэлектролитов нового поколения, которые связывают натрий в растворе по схеме «ключ — замок». То есть структура полиэлектролита должна быть такова, что катион натрия идеально подходит для захвата отрицательно заряженными группами. После такого захвата полиэлектролит теряет свойства растворимости и выпадает в осадок вместе с катионами натрия. Жидкость из

Если пить воду с высоким содержанием катионов натрия, организм не справится с осмотическим шоком, и человек погибнет

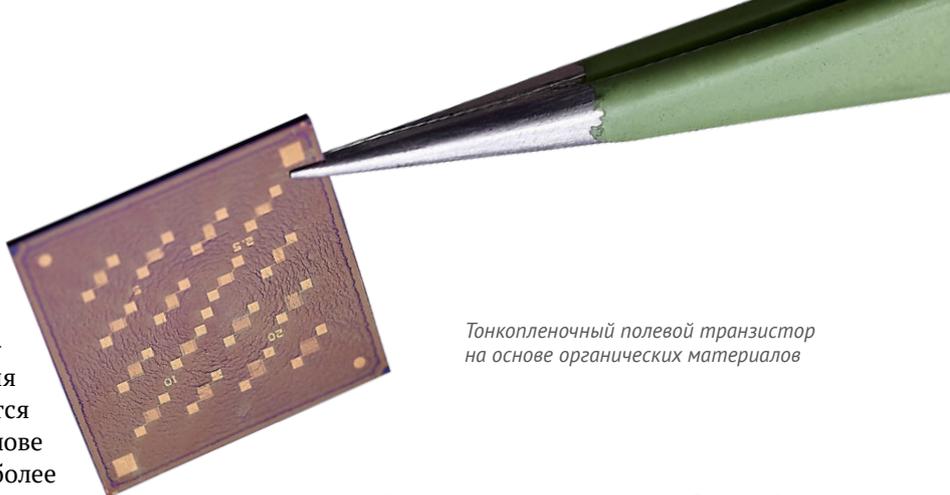
соленой превращается в слабокислую, то есть уже питьевую.

Этот проект реализуется в сотрудничестве с университетом Парижа. Химики-синтетики из Франции помогают создавать новые структуры полиэлектrolитов для очистки воды. В нынешнем году планируется построить уже первые мембраны на их основе и попытаться сделать процесс опреснения более технологичным.

ОРГАНИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

«Еще одно направление нашей работы в сотрудничестве с региональной платформой по органической электронике в Страсбурге — разработка органических солнечных батарей. Это тонкопленочные устройства толщиной от 50 до 100 нанометров, которые конвертируют свет в электроэнергию. В чем их возможные преимущества перед кремневыми? Они тонкие, что дает малый расход материала на единицу площади. Низкая стоимость материалов. В идеальном случае человек с тремя баллончиками спрея поднимется на крышу: из первого баллончика нанесет электрод, из второго — донор, из третьего — акцептор, потом опять электрод, — и крыша превратится в одну солнечную батарею. К сожалению, КПД такой батареи будет пока невысок, а стабильность достаточно низкая. Эти проблемы еще до конца не решены», — уточняет сотрудник лаборатории Кирилл Герасимов.

Тем не менее эта область бурно развивается. И речь не только об органических солнечных батареях, но и о транзисторах, сенсорах. Появится целая палитра таких органических электронных устройств. У каждого



Тонкопленочный полевой транзистор на основе органических материалов

вида изделия будет своя ниша на рынке. Это не будут заводы по производству электроэнергии. Но могут быть устройства для зарядки портативной техники. Допустим, на ваш рюкзак наносится чувствительный органический элемент, и пока вы идете в походе, он заряжает ваш телефон.

ПОЛИМЕРНЫЕ ИМПЛАНТЫ

Материал импланта должен так же деформироваться, как и окружающая ткань. Сейчас для населения, которое ведет малоподвижный образ жизни, например, очень актуальна проблема с межпозвоночными дисками. Межпозвоночная грыжа — это проблема материала диска, который соединяет позвонки, — сложно структурированного композитного материала из коллагена, который обеспечивает механику позвоночника. Если коллагеновый диск разорвался, вытекшая жидкость начинает оказывать давление на нерв, из-за чего уменьшается кровоток и нерв может отмереть. Это приводит к парализации ног, например, если речь идет о грыже поясничного отдела. В случае грыжи позвонков шейного отдела может наступить паралич рук, остановка сердца и дыхания. То есть в такой ситуации нужно в первую очередь спасти нерв. Но спасти таким образом, чтобы сохранилась физическая подвижность.

Раньше поврежденный диск удаляли и на его место вставляли пластиковый вкладыш. Полипропилен — классический частично кристаллический полимер, который применяется во многих областях и в том числе в медицине. Но он никак не соответствует по механике удаленному коллагеновому диску, поскольку это довольно твердый материал. Если вставить полипропиленовый вкладыш, механические нагрузки лишь перенесутся на следующую пару позвонков, и через несколько лет может начаться грыжа следующего диска. Человек все равно рискует стать инвалидом.

«Возникает задача воспроизведения определенного комплекса механических свойств мягких тканей. Мы начали эту работу в сотрудничестве с американскими химиками и полимерными физиками. Они профессионально занимаются симуляцией механических свойств полимеров, то есть рассчитывают процесс деформации полимерных материалов, имеющих достаточно сложную макромолекулярную структуру. Когда мы только начали этим заниматься, все говорили, что невозможно →



ПРЯМАЯ РЕЧЬ

Дмитрий Иванов, директор исследований при французском Национальном центре по научным исследованиям, заведующий лабораторией инженерного материаловедения МГУ и лабораторией функциональных органических и гибридных материалов МФТИ:

— Мы работаем с людьми, которые помогают нам моделировать новые материалы. В частности, те, которые будут имитировать свойства мягких тканей организма: кожи, жировой ткани. Наша команда разрабатывает материалы, которые будут точно воспроизводить индивидуальные свойства пациента. Было обнаружено, что индивидуальные различия между людьми в механических свойствах тканей, скажем, кровяных сосудов, очень сильно отличаются, и даже иногда приближаются к межвидовым различиям. Становится очень важно изготовить материал, который будет соответствовать точно вашим персональным свойствам, то есть воспроизводить свойства конкретно ваших тканей.



Полина Бовсуновская показывает экспериментальный образец стабилизированного грунта с использованием разрабатываемой в лаборатории технологии

Мы хотим сделать модификатор грунта без поверхностно-активных веществ

→ воспроизвести механику живых тканей, потому что она не подчиняется тем же законам, которые управляют механикой обычных эластомеров», — вспоминает Дмитрий Иванов.

Эластомеры — это класс полимеров. При растяжении эластомера сила сопротивления деформации возрастает с увеличением деформации. Кожа ведет себя совершенно по-другому. Она очень мягкая в исходном недеформированном состоянии. Можно разгладить старческие морщины без усилий. Но при этом потребуется достаточно большое усилие, чтобы удлинить ее, например, в два раза. Суть механики биологических тканей состоит в присутствии в их основе волокон, состоящих из практически полностью вытянутых цепей. Когда вы начинаете деформировать биологическую ткань, эти волокна, изначально изотропно ориентированные в материале, ориентируются в направлении деформации, и вы практически сразу достигаете точки максимального растяжения. Дальше прилагаемая сила очень быстро возрастает с деформацией. Эволюция привела к тому, что кожа имеет эту защитную функцию: она может резко упрочняться в тысячи раз при деформации.

«Постепенно мы пришли к пониманию, как отойти от этой парадигмы, согласно которой воспроизвести

в синтетических полимерах механику биологических объектов невозможно. И вместе с химиками создали новый класс полимерных материалов, который полностью воспроизводит механику биологических тканей: кожи, легких, кровяных сосудов. Это открывает совершенно новые перспективы в создании персонализированных имплантов, — полагает Дмитрий. — Ключевые параметры механики мы рассчитываем аналитически на основе созданных моделей эластического поведения материалов. Для этого у нас есть набор неких кодирующих параметров, которые позволяют нам точно предсказать деформационные кривые наших материалов. Таким образом, разработанная стратегия сводится тому, что мы берем образец биологического материала, измеряем его механическую кривую и по ней сразу создаем новый материал, который точно ее воспроизводит».

Нужно понимать, что эта технология создания материалов достаточно дорогостоящая на сегодняшний день, поэтому она не станет многотоннажной и будет оставаться на самой вершине пирамиды производства полимеров. Очевидно, что вначале такие материалы будут доступны только для достаточно обеспеченных пациентов. Тем не менее, за этим направлением будущее, потому что постепенно оно проложит путь к персонализации в медицине.

ВСЕ ДОРОГИ ВЕДУТ К ПОЛИМЕРАМ

«Одна из наших задач посвящена строительству дорог. Сейчас это важная тема. Мы изучаем такие полимерные композиции, которые будут использоваться для укрепления грунта и разрабатываем новый модификатор для этой среды. При строительстве дорог первым делом нужно обработать сам грунт, на который вы будете укладывать дорожное покрытие. Это позволяет сделать жестким полотно дороги и избежать попадания воды, поскольку пропитка происходит на значительную глубину. Сам же модификатор можно сравнить с клеем — тоже суспензия, связывающая частицы при высыхании. Для отработки своей технологии мы используем песок, поскольку это наиболее сложный к стабилизации грунт», — рассказывает сотрудница лаборатории Полина Бовсуновская.

Во многих регионах России температура проходит через ноль десятки раз в течение года. Из-за этого вода, попадающая в дорожное полотно, регулярно замерзает и расширяется, образуя трещины. Модификаторы грунта помогают избежать данной проблемы, именуемой «морозным пучением». Сегодня эта технология уже хорошо развита на Западе. Но многие из существующих модификаторов используют поверхностно-активные вещества, которые при попадании в грунт уходят в сточные воды и загрязняют окружающую среду.

«Мы хотим сделать модификатор грунта без поверхностно-активных веществ. К сожалению, пока что реализовать эту идею до конца не получилось. Мы продолжаем оптимизировать состав нашего модификатора, перенимая в том числе самые передовые западные технологии. Отдельная проблема, присущая России, состоит в большой разнородности грунтов, что усложняет задачу», — делится Полина Бовсуновская.

ЭКСПЕРИМЕНТ ПРАВИТ БАЛ

Говоря о важности экспериментальной науки, нужно понимать, что расчет механических свойств макромолекулярного материала и расчет его электронных состояний — это две совершенно несопоставимые по сложности задачи. Однако, на сегодняшний день даже определение механических свойств полимерных композитов является очень сложной задачей. Возможно ли сегодня, исходя из знания квантовой механики, квантовой химии, то есть из основополагающих принципов, рассчитать основные электронные свойства материала? К сожалению, только очень приблизительно. Рубеж современных возможностей моделирования электронных свойств — симулирование одной молекулы.

Большую роль в этой проблеме играет отсутствие знаний о микроструктуре вещества. Потому что его энергетические уровни зависят не только от строения молекулы вещества, но и от межмолекулярных взаимодействий, которые определяются структурой. То есть пока симуляции еще очень далеки от расчетов реальных материалов.

«В целом симуляция полимерных материалов — это достаточно классическое направление. И потихонечку компьютерные мощности все больше и больше позволяют приблизиться к реальным системам. Уже можно представить, как ведет себя наш материал при деформации: что происходит с боковыми цепями и с основной цепью, каковы основные этапы деформационного процесса. Но все симуляции обязательно сверяются с экспериментом. Без экспериментальной составляющей в ближайшем будущем наша сфера немислима, поэтому нужно активно работать над созданием большего числа высокотехнологичных экспериментальных лабораторий», — заключает Дмитрий Иванов. **ЭН**



Песок после обработки модификатором грунта

КВАНТОВАЯ ХИМИЯ

Про квантовую физику многие слышали благодаря научно-фантастическим книгам и фильмам. Но квантовая теория не оставила без внимания и другую классическую отрасль знания — химию. Чтобы разобраться в этой области, мы поговорили с доктором физико-математических наук, руководителем департамента химии МФТИ Александром Митиным.



Александр Митин

С 70-х годов прошлого века теоретическая химия стала очень бурно развиваться. В том числе и одна из ее составляющих — квантовая химия. Связано это с тем, что атомы и молекулы являются квантовыми объектами, а наука, которая их описывает, — квантовая механика. Отсюда вытекает, что на основе уравнений квантовой механики можно получать информацию о свойствах конкретных атомных и молекулярных систем. А зная уравнения для молекул, которые вступают в те или иные взаимодействия, — изучать механизм химических реакций.

Поскольку уравнения квантовой механики, как правило, не допускают аналитических решений, все современные знания основаны на численных методах решения. При таких подходах размерность системы, к которой сводятся исходные уравнения, может достигать нескольких миллионов.

«Вычислительная сложность этих уравнений такова, что для получения качественного решения, то есть хорошей информации о молекулах, необходимо использовать мощные вычислительные ресурсы. Поэтому современ-

Современные программы стали очень большими — они насчитывают больше полумиллиона строк исходного кода

ные программы стали очень большими — они насчитывают больше полумиллиона строк исходного кода. Экстремальные расчеты молекулярных систем часто проводятся на многопроцессорных кластерах. Поэтому нужно развивать как теорию, так и методы реализации», — рассказывает Александр Митин.

Квантовая химия является синтетической наукой на стыке химии, физики и математики: объекты исследования — химические, методы их исследования — физические, а алгоритмы этих методов — математические. Объектами изучения квантовой химии являются не только атомы и молекулы, но и наноструктуры. Последние вместе с пленками не являются твердыми телами, их правильнее относить к молекулярным системам.

ОТ 2 ДО 1500

Наиболее точно сегодня рассчитана, конечно, молекула водорода H_2 . Теоретические расчеты дают значения величин энергий, которые не уступают полученным экспериментально. Но с точки зрения задачи многих тел молекула H_2 не является многоэлектронной. У нее всего два электрона, а задача многих тел предполагает по крайней мере три объекта. В этом смысле более важной является молекула бериллия Be_2 . Она — первая, у которой экспериментально определен практически весь колебательный спектр для основного состояния.

«Лучший результат, который я получал для этой молекулы, давал среднеквадратичное отклонение колебательных уровней $0,4 \text{ см}^{-1}$ при глубине ямы у Be_2 порядка 830 см^{-1} . И эту величину можно еще уточнить. Ведь для молекулы H_2 точность определения энергетического уровня достигает тысячных долей обратного сантиметра. Но сегодня для такой точности нужно переходить к более сложным приближениям, чего может не позволить современный уровень вычислительной техники. Что касается больших молекул, не так давно я опубликовал статью, в которой был проведен расчет молекулы, состоящей примерно из 1,5 тысяч атомов», — делится Александр Митин.

Примером молекулы такого размера может быть инсулин. Это вещество очень важно для здоровья людей. Поэтому необходимо понимать, как происходят взаимодействия этой молекулы с организмом человека. По словам Александра Митина, ученые начинают понимать механизмы тех реакций, в которых она участвует. Это демонстрирует потенциальные возможности современной квантовой химии.

«Когда я только начинал свою научную карьеру, даже 3–4 атома были сложными молекулами. Сейчас системы с 1,5 тысячи атомов уже становятся доступными для расчетов. И я понимаю, какие алгоритмы надо использовать, чтобы можно было рассчитывать молекулы из 5 и более тысяч атомов. Это уже размер небольших белковых структур», — продолжает Александр Васильевич.

Проводя такие расчеты, можно лучше понять исследуемые процессы, что дополняет экспериментальные работы. Ведь очень часто экспериментально далеко не все можно определить. И возможность предварительно рассчитать объект изучения дает более глубокое понимание его сущности.

ПЕРВЫМ ДЕЛОМ МОДЕЛИРУЙ

Сегодня в мире ежегодно синтезируется несколько сотен тысяч абсолютно новых веществ. Описываются их физико-химические свойства. Но по большей части полученные вещества не находят применения. Как же происходит поиск новых веществ? Синтез вещества является ключевой, но сложной и очень дорогой фазой этого процесса. Поэтому сначала идут квантовые расчеты возможных кандидатов для конкретного применения. Затем отбираются наиболее подходящие исходя из рассчитанных свойств кандидаты. И только потом они синтезируются.

Тем самым ускоряется процесс поиска новых веществ.

Важны такие расчеты и для описания химических реакций, то есть для понимания их кинетики. В случае больших молекул знание электронной структуры позволяет определить их активные центры.

«Сейчас у меня в работе молекула инсулина, которая интересна и важна как для биологов, так и для химиков. Я хочу определить ее активные центры, то есть понять, какими частями она может присоединяться к другим молекулам, — говорит Александр Митин. — Понятно, что какая-то маленькая молекула может присоединиться к ней не в любом месте, а, согласно квантовой механике, только к последним заполненным электронами уровням энергий. А соответствующая молекулярная орбиталь не обволакивает всю молекулу, она локализована в каких-то ее частях. Те области, где она будет располагаться, и будут являться активными центрами. Определив их, мы можем понять, как инсулин будет взаимодействовать с другими молекулами».

Возможность предварительно рассчитать объект изучения дает более глубокое понимание его сущности

Среди направлений развития теоретических химических методов можно выделить изучение трансурановых элементов. Эксперименты с

трансурановыми химическими соединениями делать крайне сложно. Квантовые расчеты проводить заметно проще. Они дают информацию о соединениях и возможных химических реакциях с участием этих элементов. По словам Александра Митина, еще до того, как синтезировали 117-й элемент таблицы Менделеева, он с коллегами смог рассчитать физико-химические свойства этого атома и его двухатомной молекулы. Экспериментально определить их не представляется возможным, поскольку ядра столь массивных элементов являются короткоживущими. Но располагать элементы в таблице нужно, а для этого необходимо знать их свойства.

«Новые теоретические построения и модели дают новый взгляд на физические объекты. Они позволяют ставить новые эксперименты, поскольку исследуемый объект всегда видится через призму модели. Квантово-механические расчеты часто позволяют уточнять эти модели и оценивать свойства исследуемых объектов до начала эксперимента. В этом их сила. Например, можно заранее оценить физико-химические свойства молекулы, которую планируется исследовать или синтезировать», — считает Александр Митин. **ЭН**

Молекулярные машины

Создание молекулярных систем под определенную задачу, изучение их квантовых свойств, разработка материалов и устройств, применимых в газоанализе, фармакологии, биологии и медицине, — все это направления деятельности Центра фотохимии РАН ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, одной из базовых организаций Физтеха. А еще тут не забывают о прекрасном и пишут картины.

ОТ ПРОСТОГО К СЛОЖНОМУ

Долгое время после формирования Земли существовали только простые молекулы. Вся биологическая жизнь основывается на четырех основных элементах таблицы Менделеева: углероде, азоте, кислороде и водороде. Вначале стали возникать простые молекулы. Потом в какой-то момент эволюция привела к тому, что возникли более сложные системы. Конструкцию, возникающую из нескольких молекул, называют супрамолекулярной системой. Она характеризуется тем, что в ней одни атомы связаны прочными ковалентными связями, а другие — слабыми межмолекулярными. Любой материал всегда составлен из многих молекул. А свойства конструкции из нескольких молекул — не просто сумма их собственных свойств, у нее появляются новые характеристики, например, прочность.

Ансамблю молекул уже можно придавать определенные формы. Например, построить конструкцию, в которой будет полость. Тогда в эту полость можно вставлять какие-то молекулы извне. Это позволит на основе такой конструкции построить некое устройство.

«Так это и работает в биологии: у белка есть полости, которые являются рецепторами. Белок — это, по сути, супрамолекулярная система. А мы можем из относительно небольших органических молекул построить похожую конструкцию и в ней организовать некую полость. И эту конструкцию использовать для сенсоров. Полость становится рецептором, потому что из нее «торчат» атомы, которые могут связывать извне другие молекулы. Мы знаем, что молекула имеет форму. Значит, конструируя разные формы внутренней полости, вы можете делать их селективными к разным молекулам. И если вы сделали полость, сравнимую с размером молекулы, то она будет связываться хуже или лучше в зависимости от того, соответствует ли она этой форме. Это одно применение такой полости», — рассказывает научный руководитель Центра фотохимии РАН академик Михаил Алфимов.

Супрамолекула может обладать функциональными возможностями различать химические вещества или сшивать их. Задача состоит в том, чтобы построить конструкцию из многих молекул, которая обладает определенной функцией. Вариантов ее геометрии довольно много, полость — лишь один из них.

Другой вариант супрамолекулярной машины, созданной в Центре фотохимии РАН, занимается синтезом молекул. Ее геометрия может быть такой же — полостью. Если поместить такие полости в жидкость, из двух молекул этой жидкости можно сделать димер, фотохимически сшив их. Полость будет захватывать и удерживать внутри две молекулы. В тот момент, когда они окажутся захвачены, они могут поглотить свет, под действием которого они будут сшиты и их суммарный объем уменьшится, после чего получившийся димер свободно выйдет из полости и попадет обратно в раствор.

Установка для измерений флуоресценции молекул



Вся биологическая жизнь основывается на четырех основных элементах таблицы Менделеева



Академик Михаил Алфимов

«Таким образом, под действием света эти специальные полости будут работать как машины по синтезу нового вещества, — продолжает Михаил Алфимов. — Мы пытаемся функционально воспроизвести конструкции, которые сделала природа, но синтезируем их химически. Понятно, что соревноваться с природой по всем параметрам мы не можем. Хотя по функциональности идем по ее пути. Когда же говорим о молекулярной машине, мы имеем в виду функцию, которую выполняет эта машина. Мы делаем такой ансамбль молекул, который выполняет только одну функцию, в отличие от того, как поступает природа, — она из молекул строит конструкции, которые выполняют очень много функций. И биологи как раз пытаются построить системы с большим набором функций. Но из малого числа молекул вы не можете построить конструкцию, которая будет выполнять много функций. Биологи берут отдельные созданные природой системы и их используют. А мы стараемся с нуля сделать что-то похожее, пользуясь простыми молекулами».

Старший научный сотрудник центра, выпускник Физтеха 2007 года Дмитрий Ионов уточняет: «Получается заход с разных сторон. Биологи пытаются сделать декомпозицию имеющейся системы, понять, как она устроена. Взять какие-то отдельные элементы биологической системы и заставить их работать. А мы стараемся наоборот создать свою систему, подсмотрев некоторые идеи у природы. Мы используем более простые молекулы, однако можем получить систему с требуемыми функциями и характеристиками. Наша работа позволяет получить новые знания о принципах устройства

Основная наша задача — создать структуры, которые способны концентрировать поглощенную энергию

и функционирования таких систем. Эти знания, в свою очередь, могут использоваться при изучении биологических объектов».

ИССЛЕДОВАНИЕ СУПРАМОЛЕКУЛЯРНЫХ СИСТЕМ

Задача многих фемтосекундных установок — это исследование быстрых процессов, которые протекают в молекулах. При возбуждении молекулы импульсом света она может перейти в более высокое возбужденное состояние, из которого может люминесцировать, передать поглощенную энергию на другие молекулы или потерять, преобразовав в энергию колебаний связей молекулы и окружения. От соотношения этих процессов зависит поведение молекулы в различных химических и биологических системах.

«Процесс, который мы собираемся изучать с помощью стрик-камеры, — квантовое взаимодействие двух возбужденных молекул, находящихся на кончиках одной большой молекулы. Когда волновые функции двух возбужденных молекул взаимодействуют, должно проявляться новое связанное состояние, свойства которого отличаются от возбужденных состояний двух независимых молекул. В данном случае мы хотим следить за временем жизни люминесценции молекул красителя. Такие молекулы широко используются в биологии, для трехмерной памяти, могут применяться в квантовых компьютерах. Однако они представляют большой фундаментальный интерес: можно понять, как работают подобные системы молекул», — считает научный сотрудник центра Анатолий Иванов.

Молекула, которая используется в качестве остова, — нейтральный углеводород, фиксирующий в пространстве расстояние и взаимную ориентацию флуоресцирующих молекул. С помощью этого остова можно менять геометрию и изучать эффективность переброса энергии с одной исследуемой молекулы на другую.

«Так работает фотосинтез: есть молекулы, которые поглощают свет, возбуждение мигрирует в материале и захватывается фотоцентром, в котором идет химическое превращение. Основная наша задача — создать структуры, которые способны концентрировать поглощенную энергию. Сейчас мы на стадии понимания, какую нужно сделать конструкцию, чтобы процесс был максимально эффективным», — говорит Михаил Алфимов.

На другой установке сотрудники Центра фотохимии измеряют флуоресценцию молекулы, ее стимулированную эмиссию и изменение поглощения. Они занимаются всесторонним описанием объекта для возможности его последующего применения в различных →

→ сферах. Причем созданные установки позволяют наблюдать за поведением исследуемых образцов в реальном времени с разрешением сотни фемтосекунд, например, видеть, как в динамике меняются спектры поглощения молекул.

«У нас есть полный комплекс аппаратуры по фемтосекундной спектроскопии молекул. С помощью наших установок мы исследуем процессы в сложных супрамолекулярных системах. Например, комплексы фотоактивных молекул красителей с циклодекстринами или кукурбитурилами, представляющие собой “бочки” без дна и без крышки. И мы в реальном времени видим: краситель поглотил свет и глубоко вошел в эту “бочку”. В нашей стране есть только несколько групп, которые занимаются кукурбитурилом, а на Западе им интересуются многие. Такие молекулы можно использовать для транспортировки лекарств. В них помещают полезное содержимое, как в кокон, чтобы он дошел до нужной точки, открылся и выпустил лекарство», — поясняет научный сотрудник центра Игорь Крюков.

ХЕМОСЕНСОРЫ

«Одно из прикладных направлений нашей работы — разработка хемосенсорных материалов для детектирования различных веществ в воздухе, например, ароматических молекул: бензола, толуола, ксилола. Чтобы получить хемосенсорный материал, нужно провести химический синтез, а дальше, чтобы сделать сенсорный элемент из такого материала, мы используем специальный струйный

принтер со стеклянным соплом. Этот принтер позволяет получить на подложке покрытие с заданной геометрией и числом слоев. Можно создавать матрицу из сенсорных материалов, чувствительных к определенным соединениям, и за счет этого расширять количество одновременно измеряемых веществ. В качестве демонстрационного образца мы уже изготавливали прототип компактного газоанализатора», — рассказывает Дмитрий Ионов.

Чувствительность разработанного датчика находится на уровне предельно допустимой концентрации для рабочей зоны, которую устанавливают по гигиеническим нормативам. Для бензола, канцерогенного для человека вещества, чувствительность находится на уровне одной молекулы на два миллиона частиц воздушной смеси. По словам Дмитрия Ионова, через два года датчики планируется вывести на рынок. Сейчас процесс находится на стадии предпромышленного выпуска.

Такие датчики необходимы на всех химических предприятиях, связанных с производством ароматических веществ. Нефтехимия, транспортировка бензола, металлургическое производство, где используется коксующийся уголь. Это вопрос промышленной безопасности.

«Под действием света используемые нами материалы флуоресцируют. Спектр флуоресценции, то есть ее цвет, меняется в присутствии летучих веществ. И цвет этот зависит от конкретного летучего вещества. Поэтому с помощью математической обработки можно узнать, что это было за вещество и в каком количестве», — объясняет Михаил Алфимов.

Важный нюанс этой технологии заключается в том, что чем интенсивнее источник света, тем сильнее будет флуоресценция. Следовательно, пока флуоресцирующий материал не облучается и не перешел в возбужденное состояние, не происходит его взаимодействия с летучими веществами. Значит, не происходит и деградации материала. Благодаря этому можно управлять ресурсом материала и сделать за счет этого факта более долгоживущие датчики.

«Проблема многих существующих датчиков — у них есть некий реактив, который расходуется в процессе реакции. И если вы ставите этот датчик где-то, где есть небольшая постоянная концентрация регистрируемого вещества, то его ресурс ограничивается несколькими месяцами работы. Наши датчики активируются только когда на них попадает свет, в остальное время они не разрушаются. Мы как бы активируем молекулу на время регистрации. К тому же, когда вы измеряете флуоресценцию, у вас сигнал пропорционален интенсивности света, соответственно, вы можете интенсивностью света управлять минимальным уровнем сигнала, который вы можете измерить», — рассказывает Дмитрий Ионов.

Игорь Крюков рядом с установкой по фемтосекундной спектроскопии молекул





Дмитрий Ионов рядом с принтером для печати сенсорных материалов

Под каждый класс веществ надо разрабатывать свой датчик. Поэтому для полноценного анализа газовой смеси, будь то воздух или какие-то выбросы, нужно строить системы из набора датчиков: пластину с разными датчиками, каждый из которых имеет определенный рецептор. И в качестве «мозга» такой системы должна быть нейронная сеть, натренированная на различение молекул в смеси.

«Сейчас мы пытаемся использовать нейронные сети, которые будут флуоресцентные сигналы различать от разных элементов. Будущие хемосенсорные системы станут представлять собой матрицу таких элементов, с помощью которой можно будет различать состав смеси. Каждая матрица будет строиться из определенного флуоресцентного материала, в котором разместятся отдельные супрамолекулярные архитектуры. Как я себе представляю, само устройство должно быть стандартное, а сенсорный элемент должен быть свой под каждую задачу», — считает Михаил Алфимов.

Таких датчиков сегодня не существует. Создание подобных устройств позволит в будущем контролировать не только состав воздуха на улице, дома и на производствах, но также состав продуктов по их запаху и даже определять состояние здоровья человека по содержанию его выдоха, который дает много информации о метаболизме.

«Спрос на создание такой системы индивидуального контроля будет, — уверен Михаил Алфимов. — И это

не только мое мнение. Скорее всего, они будут встраиваться или подключаться к мобильным телефонам или другим персональным устройствам. Для наших устройств нужен светодиод, источник энергии и процессор, а все это есть в любом современном гаджете».

ЧТО НАС ЖДЕТ

Природа вместо того, чтобы создавать множество технологий, использует всего несколько, применяя их во всех случаях. Обонятельная система построена почти по той же архитектуре, что и зрительная. Используются те же конструкции белков той же сложности.

«Наша насущная задача — создавать технологии, обладающие высокой эффективностью. А для этого нужно понять, что в основе всего, что мы используем, лежит материал. Значит, технологии конструирования материалов необходимо сделать максимально энергетически эффективными. И сами материалы в качестве рабочего вещества тоже должны использовать энергию максимально эффективно, — заключает Михаил Алфимов. — Но, на мой взгляд, все, что до сих пор создавал человек, очень неэффективно расходует энергию. В природе же это не так. Например, фотосинтез на 100% использует весь поглощенный свет. А существующие технологии фотовольтаики работают в лучшем случае с КПД 40%. Человечество будет стремиться к минимизации расхода энергии во всем. А для этого придется начать конструировать материалы, исходя из супрамолекулярного подхода». **ЭН**

Наша насущная задача — создавать технологии, обладающие высокой эффективностью

Как найти стажировку за границей

Продолжаем наш цикл статей о карьере в науке. Сегодня обсудим то, о чем мечтают многие студенты, но, как правило, не знают, с какой стороны подступиться, — международные стажировки. Своим опытом поделится выпускник Физтеха Александр Золотарев, который ездил на последнем курсе магистратуры МФТИ на двухмесячную стажировку в Государственный университет штата Огайо, США. В статье мы расскажем о традиционных способах найти себе стажировку и выложим «альтернативную» историю Саши.

✍ Ильяна Золотарева

Стажировка в научной лаборатории за рубежом — это, прежде всего, способ проверить себя, свои навыки ученого, которые вы уже успели приобрести, и, конечно, испытание иностранным языком. Например, в США, по словам Саши, состав лабораторий очень разнородный: тут вы встретите как китайцев, индусов, латиноамериканцев, так и американцев (правда, скорее всего, последних будет очень мало), так что стесняться

своего акцента точно не стоит, у тех же китайцев он сильнее выражен. Если вы уверены в своем уровне владения иностранным языком и твердо решили, что пора искать стажировку, пройдемся по основным пунктам.

КАК НАЙТИ ПРОГРАММУ?

Здесь два основных способа: можно искать через университет, а можно через профессора. В первом случае нужно просто изучить сайт и соцсети вуза, в котором хотелось бы побывать, посмотреть, не объявлен ли

там конкурс стажировок по вашей теме, и подать в порядке общего конкурса. Можно также найти лабораторию, которая ближе всего по своей специализации к интересующей вас научной области, и написать письмо представителю лаборатории или международному офису университета. Как правило, мотивационного письма и приложенного CV со списком публикаций (если они есть) будет достаточно. Такая рассылка не настолько эффективна, как участие в университетском конкурсе, но попытаться стоит.

Второй способ больше опирается на ваше везение и желание знакомиться с новыми людьми. Александр рассказал нам о своем опыте: в начале июня 2017 года он посетил 7-й Всероссийский съезд аритмологов, но даже не подозревал, что там сможет найти профессора и договориться

с ним о стажировке. На тот момент Саша заканчивал первый год магистратуры на кафедре живых систем ФБМФ. На одном из пленарных докладов в большом зале шло выступление профессора из США, который в конце пригласил в свою лабораторию аспирантов и студентов.

«Я встретил этого профессора на следующий день одного в коридоре и решил подойти. Беседа превзошла все мои ожидания: он оказался выпускником Физтеха, моего факультета, моей кафедры и заведующим лабораторией в Огайо. На этом совпадения не закончились — ему нужен был лаборант со знанием физики и аритмологии, при этом программирующий на MatLab. Тут уж я развернулся, рассказывая про то, что учусь на программе двойных дипломов МФТИ и Первого МГМУ им. Сеченова, что проходил летнюю терапевтическую практику в отделении интервенционной аритмологии НМИЦ профилактической медицины и что обработка всех данных в моем бакалаврском дипломе велась на MatLab. В итоге мы договорились до того, что было бы неплохо мне съездить к нему на стажировку, — рассказывает Саша. — Сразу после я созвонился со своим научным руководителем, чтобы узнать, как он относится к тому, что я потрачу два осенних месяца на стажировку. Позиция была выигрышной для обеих сторон: моя лаборатория получала коллаборацию с Огайо и простажировавшегося в США лаборанта, а лаборатория в Огайо — сотрудника на два месяца».

TRAVEL-ГРАНТ, СТИПЕНДИЯ

Понятно, что осилить бюджет поездки в другую страну, проживание, питание, медицинскую страховку, визу и хоть какие-то развлечения на долгий срок студенческий карман не в состоянии. Если вы подаетесь на стажировку по конкурсу, то в условиях, как правило, уже указано, предоставляет ли университет жилье, оплачивает ли дорогу, какую стипендию предлагает. Так что этот способ в финансовом плане самый безопасный. Если вы решили связаться напрямую с лабораторией, всю эту информацию вам нужно

будет получать отдельно и договариваться заранее, чтобы по приезду в другую страну не случилось никаких неприятных сюрпризов.

Александр договорился о стипендии на время стажировки сразу, но дорогу, проживание и визу принимающий профессор не был готов оплатить. Тут ему помог научный руководитель — он узнал, что международный отдел МФТИ объявил конкурс travel-грантов для студентов, которые собирались на международные стажировки в 2017–2018 учебном году. Список документов был довольно длинным, но оно того стоило: Саша выиграл этот travel-грант, и большинство его расходов были покрыты. Обязательно сходите в международный отдел (405 АК) и узнайте, какие они предоставляют возможности физтехам.

ВИЗА

Этот этап отберет довольно много времени на бумажную волокиту и еще больше нервов, поскольку вам нужно будет получить студенческую визу, требования к которой намного строже, чем к обычной туристической. Для визы в США в список документов входят официальное приглашение принимающего университета (с мокрой печатью и подписью, скан не подойдет — придется довериться почтовым службам), справка о финансовом обеспечении стажировки, подтверждение оплаты консульского сбора и сбора SEVIS — в итоге получается в два раза дороже, чем туристическая виза, зато посольство обязано обработать вашу заявку быстрее, чтобы вы успели получить визу к началу вашей программы. Последнее — несомненный плюс студенческой визы сегодня, когда туристы из России могут ждать визу в США до года.

СТАЖИРОВКА

Вот вы и преодолели все бюрократические проволочки, получили визу, пролетели тысячи километров, чтобы оказаться в иностранной лаборатории.

«Основное ощущение от американской лаборатории — абсолютно от-

личная от российской науки атмосфера. Ты работаешь и до ночи, и по выходным, и нельзя сказать, что ты вкалываешь больше других, скорее наоборот, — смеется Александр. — Никто не делает скидки на то, что тема исследования для тебя еще нова или что ты не все понимаешь в разговоре, ведь говорят быстро и проглатывая окончания. Стоят четкие сроки, и в них нужно уложиться. В общем, такая конкурентная среда мне скорее понравилась, но было понятно, что прямо сейчас стать аспирантом или постдоком в американской лаборатории я еще не готов».

За два месяца стажировки Саша смог набрать достаточно данных по своей теме, чтобы органично включить их в магистерский диплом. После стажировки он продолжил удаленно сотрудничать с лабораторией и помогать с обработкой данных, за что его включили в соавторы одной статьи.

ИТОГИ

Если повезет, вы можете за время стажировки успеть внести свой вклад в текущий проект лаборатории, вас включат в соавторы статьи или тезиса. В будущем профессор может помочь вам с рецензией на вашу работу. Во всяком случае, сама стажировка как опыт работы в иностранной лаборатории — уже хорошая строчка в резюме.

Но важнее всего оценить, как вы ощущаете себя в новой среде. Ведь если вы приехали на стажировку «на разведку» — понять, стоит ли переезжать сюда на время PhD или постдока, — то лучше трезво оценить все плюсы и минусы сейчас, во время стажировки. Гораздо хуже заключить трехлетний контракт с иностранным профессором и осознать, что научная тема не нравится, оборудование могло бы быть и поновее, а сотрудники в лаборатории почему-то совсем не настроены вести с вами полуночные разговоры за чаем о научной составляющей устройства мироздания. **ЭН**

ОТ БИОСЕНСОРА ДО ЗВЕЗДНЫХ ВОЙН

Татьяна Небольсина,
Ксения Цветкова

Какие научные новости ученых МФТИ лучше всего читали в 2018 году.

В заключительном номере «За науку» 2018 года мы выпустили рейтинг самых значимых научных публикаций года с авторами, имеющими аффилиацию МФТИ. Построить его было просто — мы посмотрели импакт-факторы журналов, в которых вышли статьи, и выбрали первые пять. Сегодня мы составили список из 10 релизов, написанных по научным статьям ученых МФТИ, которые получили самый большой охват среди журналистов, новостных и научно-популярных сайтов, а также среди широкой аудитории неэкспертов в русскоязычном сегменте в 2018 году. Стоит отметить, что импакт-факторность журнала и цитируемость ученого для популярного изложения имеют небольшое значение: корреляции между первым списком и сегодняшним не наблюдается.

Для составления рейтинга мы использовали автоматическую систему мониторинга и анализа СМИ в реальном времени Медиалогия. Всего в 2018 году пресс-службой МФТИ было разослано и предложено журналистам около 80 научно-популярных релизов по научным статьям. В общей сумме Физтех был упомянут в средствах массовой информации более 30 000 раз, из них 3 155 — научные новости по следам релизов с упоминанием ученых, лабораторий и аффилированных научных центров МФТИ. В среднем каждый релиз по научным статьям переписывали и перепечатывали на своих ресурсах 48 изданий. Сначала его публикуют информагентства — ТАСС и РИА — и научно-популярные сайты: N+1, Индикатор, Чердак, Наука и жизнь, Научная Россия, Наука 2.0 и другие. Затем новость выходит на сайтах телеканалов и общественно-политических изданий в рубриках о науке: Вести, Известия, Российская газета, Вечерняя Москва и так далее, а потом — на сайтах региональных и небольших СМИ.

Попробуем опередить ваши ожидания: в научной повестке по-прежнему лидируют темы космоса и лечения болезней. В индексе Altmetric за 2018 год по физическим и медицинским наукам можно наблюдать такую же тенденцию. Altmetric учитывает публикации в СМИ и упоминания научной статьи в фейсбуке и твиттере, однако он не включает большинство российских изданий. Согласно исследованию Axios, Schema и Google Trends, в среднем новостное сообщение живет семь дней, в течение которых оно появляется в разных изданиях — таков период существования общественно значимой темы в массовом сознании. Наши наблюдения показывают, что в топовых СМИ новости действительно распространяются в течение недели, однако и после этого можно видеть републикации на второй и третьей неделе, а иногда и в течение всего месяца.

Итак, переходим к горячей десятке 2018 года.

10 место

69 публикаций

Биосенсоры из меди и оксида графена

Лаборатория нанооптики и плазмоники МФТИ разработала биосенсорный чип беспрецедентно высокой чувствительности на основе меди вместо традиционного для таких устройств золота. Подобная замена не только несколько снижает цену, но и существенно облегчает производство биосенсоров с технологической точки зрения. Релиз был инициирован и написан самими сотрудниками лаборатории. Они же придумали идею иллюстрации, которую воплотил в жизнь наш дизайнер.

Langmuir (IF 4,38)*



* Название научного журнала, где опубликована статья ученых, и его импакт-фактор (IF)

9 место

71 публикация



Погода на Марсе

Марс и то, что на нем происходит, — тема, которая по-прежнему очень привлекает и журналистов, и читателей. Научная работа была сделана сотрудниками лаборатории инфракрасной спектроскопии МФТИ с участием зарубежных коллег. Ученые численно смоделировали распределение водяного пара и льда в атмосфере Марса в течение года и выяснили, что наибольшая концентрация воды достигается над северным полюсом в тот момент, когда в соответствующем полушарии наступает лето. В испанском издании *Hipertextual* с охватом в 13 миллионов человек был опубликован расширенный вариант пресс-релиза с интервью Александра Родина.

Journal of Geophysical Research: Planets (IF 3,54)

8 место

78 публикаций

Телепортация светом

Ученые из МФТИ и Российского квантового центра предложили новый способ передачи квантовой информации между различными типами кубитов посредством электромагнитного поля. Большинство СМИ в своих заголовках сделали акцент на слове «телепортация», однако вторая часть заголовка не менее важна для понимания сути работы. Впрочем, формулировка «разные степени свободы света» не является принятым в массовом сознании штампом, в отличие от телепортации, «известной» всем по фантастическим фильмам, поэтому журналисты ее не использовали.

Nature Communications (IF 12)



7 место

81 публикация

Формирование джета в высоком разрешении

Международная группа ученых, в которую входили сотрудники МФТИ, МГУ и ФИАН, визуализировала образование струи плазмы в окрестности массивной черной дыры. Радиоизображение, сделанное с помощью комбинации телескопов в космосе и на Земле, позволило восстановить структуру струи с потрясающей детализацией. Инициатором написания релиза и главным спикером выступил руководитель лаборатории фундаментальных и прикладных исследований релятивистских объектов Вселенной Юрий Ковалев. Написанием релиза и его распространением занимались совместно сразу три пресс-службы: Физтеха, МГУ и ФИАН.

Nature Astronomy (новый журнал)

Ядерная батарейка

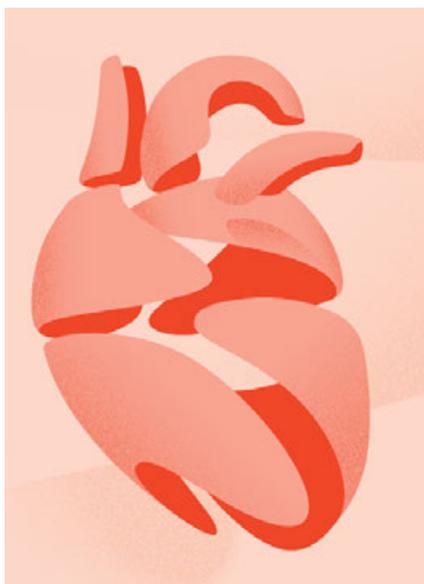
Давно замечено, что упоминание в заголовке улучшенного действия чего-либо или уменьшения стоимости повышает привлекательность новости для читателей и журналистов пропорционально произведенному учеными улучшению. В заголовке к этому релизу значилось «энергию ядерной батарейки уплотнили в десять раз». Зарубежный журнал *The Register* в подзаголовке этой новости написал: «In Putin's Russia, battery life outlive YOU», то есть «В Путинской России батарейки переживут людей». В работе группы ученых под руководством Владимира Бланка оптимизированы толщины слоев «ядерной батарейки», что привело к увеличению плотности запасенной энергии.

Diamond and Related Materials (IF 2)



6 место

82 публикации

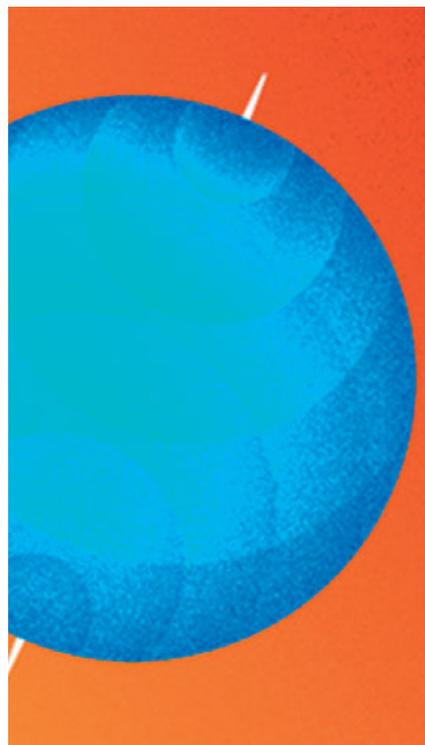
**Сердечная ткань
для тестирования
лекарств**

Ученые лаборатории биофизики возбудимых систем МФТИ создали тест на основе индуцированных плюрипотентных стволовых клеток, который с высокой точностью определяет, обладает ли лекарство побочным действием в виде тахикардии — наиболее опасного вида аритмии сердца — или нет. Для этого релиза наш дизайнер сделал гифку, показывающую, как распространяется возбуждение по культуре клеток. Спикером выступил руководитель лаборатории Константин Агладзе.

Toxicological Sciences (IF 4,18)

4 место

89 публикаций

**Трещины
и разломы
Земли**

В новости рассказывается о разработке математического алгоритма, который позволит строить более точные модели углеводородных месторождений с разломами и трещинами, а также в разы повышать детализацию результатов геофизических вычислений. Работа была сделана сотрудниками лаборатории прикладной вычислительной геофизики МФТИ и базового Института системного анализа РАН. По скорости вычислений разработанный метод успешно конкурирует с имеющейся на международном рынке альтернативой. Новость, посвященная добыче углеводородов, была перепечатана многими специализирующимися на данной тематике ресурсами.

Geophysical Prospecting (IF 1,7)

5 место

84 публикации

Шепот Земли

Опять же, из практики замечено, что придание неодушевленным объектам человеческих функций сильно оживляет заголовок. Исследование было проведено сотрудниками Института динамики геосфер РАН и кафедры теоретической и экспериментальной физики геосистем МФТИ, которая находится на базе этого

института. На страницах журнала Scientific Reports ученые представили описание метода предсказания землетрясений, основанного на анализе слабых колебаний, возникающих в зоне тектонического разлома. Спикерами выступили Геворг Кочарян, профессор кафедры, заместитель директора ИДГ РАН по научной работе, и Алексей Остапчук, первый автор работы, сотрудник института и кафедры.

Scientific Reports (IF 4,6)



3 место

91 публикация

Новые соединения урана

Эта работа была сделана большой группой ученых из России, Китая, США и Германии. Исследователи предсказали и экспериментально обнаружили новые гидриды урана, а также предсказали для некоторых из них сверхпроводимость. Первым автором в научной статье был представлен Иван Круглов из лаборатории компьютерного дизайна материалов Физтеха, также в авторах для корреспонденции Артём Оганов (профессор Сколтеха и МФТИ) и Александр Гончаров (институты Китая и США). Над темой сверхпроводимости работает огромное количество лабораторий и ученых по всему миру, поэтому неудивительно, что и медиа уделяют ей повышенное внимание. Релиз был подготовлен и распространялся совместно с пресс-службой Сколтеха.

Science Advances (IF 11,5)

По заголовкам можно заметить, что три предыдущие новости с упоминанием землетрясений, разломов и урана в массовом сознании связаны с безопасностью. А эта тема всегда волнует читателей. Журналисты интернет-изданий знают: если заголовок не задел за живое — пользователь не зайдет в новость и не прочтает ее. Отсюда и возникает увлеченность кликбейт-заголовками. Многие ученые порицают средства массовой информации за это — часто бывает, что название «передергивает» содержание новости. Журналистам, однако, сложно быть предельно научно-точными в заголовках, рассчитанных на массовую публику. Как и во всем, нужно искать золотую середину.

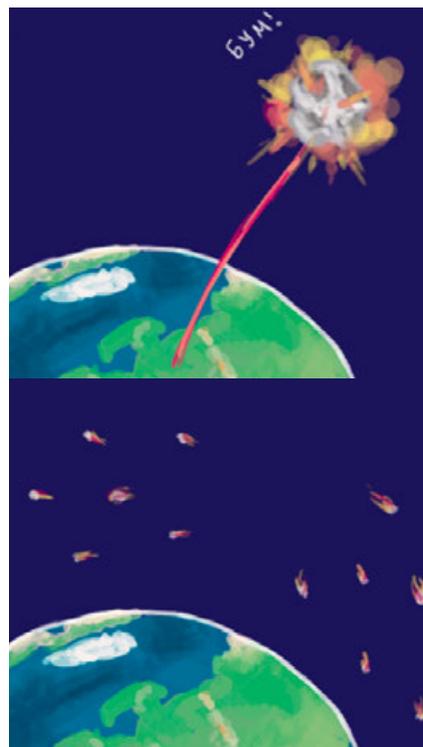
2 место

263 публикации

Программа предскажет риск смерти

Научные сотрудники компании Gero и МФТИ обучили нейросеть предсказывать вероятность смерти на основе данных фитнес-трекера. Авторы разработки напрямую связали физическую активность с биологическим возрастом человека и расчетом вероятности смерти, что нашло свое отражение в ярком заголовке. Инициатором и спикером релиза выступил Пётр Федичев, заведующий лабораторией моделирования биологических систем МФТИ и научный директор Gero. Английской версией релиза также заинтересовалось большое число журналистов, новость вышла в 37 изданиях, среди которых знаменитые The Sun с аудиторией 99 миллионов человек, DailyMail с аудиторией 350 миллионов и Business Standart с аудиторией 15 миллионов читателей.

Scientific Report (IF 4,6)



1 место

352 публикации

Борцы с астероидами

На первом месте новость от ученых МФТИ, Института космических исследований РАН и других российских институтов о расчете и лазерном моделировании разрушительного воздействия ядерных взрывов на опасные астероиды. Инициировал написание релиза и стал спикером один из авторов исследования, доцент кафедры прикладной физики и кафедры лазерных систем и структурированных материалов МФТИ Владимир Юфа. Он принес в пресс-службу Физтеха Журнал экспериментальной и теоретической физики с этой статьей. Иллюстрация к новости была сделана нашим дизайнером по следам рисунков самих ученых. Кроме российских, новость была опубликована в 41 зарубежном издании (как в общеизвестных ежедневных изданиях The Telegraph — 111 миллионов, DailyMail — 350 миллионов, Express (UK) — 114,5 миллионов и других, так и в профильных: Space — 21 миллион, Outer Places — 1,5 миллиона). Действие новости про спасение человечества от астероида длилось почти целый год: вышла в свет она в конце февраля, и еще в декабре 2018 года можно было увидеть отсылки к ней в других новостях.

Журнал экспериментальной и теоретической физики (IF 0,9)

Отметим, что этот рейтинг призван поддержать ученых, с которыми мы активно взаимодействовали в течение года. Надеемся, что это было обоюдно полезное сотрудничество. Также приглашаем новые лаборатории и исследователей Физтеха в 223 кабинет главного корпуса с идеями и статьями, или можно писать на почту press@phystech.edu. Мы всегда рады рассказать о вашем исследовании большему числу людей. **эн**



✍ Александра Борисова,

выпускница химического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова, кандидат химических наук. Научный журналист, ранее руководила пресс-службой МФТИ и порталом «Чердак». Стипендиат фонда имени Гумбольдта. Лауреат премий Pressзвание, Tech in Media, Gold Quill, SABRE. Сейчас – президент Ассоциации коммуникаторов в сфере образования и науки (АКСОН).

Между физикой и биологией

НИКТО НЕ ВОДИТСЯ СО МНОЙ

Химия — нелюбимое дитя в семействе естественных наук. Химию позже всех начинают изучать в школе (судя по знаниям, большинство вообще не начинает никогда). У химии плохой «пиар» по сравнению с «соседками». Физика фундаментальна, биология — естественна и тем полезна, а химия в лучшем случае ассоциируется с лобби фармкомпаний, а в худшем — с вредными производствами. Пользуясь своей репутацией, физика и биология периодически совершают эпистемологические набеги на смежные области химии, объявляя те или иные исследования «нехимическими» (а физическими либо биологическими).

Мне как химику по образованию и отчасти — по духу всегда были странны эти дискуссии, поэтому я логично задалась вопросом о том, как мы вообще отличаем одну область науки от другой. Оказалось, что решением этих вопросов на фундаментальном уровне занимаются не физики или химики, а философы науки. Почему? Потому что, замечают они, решать такой фундаментальный

вопрос могут только те, кто находится «над схваткой», а называется он проблемой демаркации. Забегая вперед, я скажу, что ничего такого лучшие умы не решили. Наоборот, изучая границы между разными областями науки, они пришли к тому, что общего у них больше, чем различий, а вообще хорошо бы на фундаментальном уровне объяснить различия между наукой и ненаукой. Случилось это почти сто лет назад, так с тех пор и ищут, — и термин «проблема демаркации» теперь означает в том числе задачу поиска универсальных критериев разделения науки и ненауки. Что, впрочем, не мешает нам с вами посмотреть, как же пытались разграничить науку и где на этих весах будет лежать химия.

КРАСИВЫЕ — НАПРАВО, УМНЫЕ — НАЛЕВО

Самый очевидный путь — разделить науки по объекту изучения. Так появились нечетко определяемые группы: естественные, общественные и гуманитарные науки. Химия, конечно, наука естественная. Она изучает предметы и



явления естественного мира вокруг нас. Однако попытка поделить науки по объекту исследования маловато говорит нам об их внутреннем устройстве. Кроме того, если задуматься, это деление непостоянное. Если раньше планеты изучала исключительно астрономия, то теперь, с развитием космической техники, их изучают и химики, и геологи, и даже в некоторых случаях климатологи. А есть объекты исследования, которые совершили еще более длинный прыжок, — из гуманитарных наук в естественные. Не удивляйтесь, если услышите, что лингвистика — это естественная наука, потому что она применяет формальные методы и модели к естественной среде, которой является язык. Создание таких моделей стало возможным из-за развития математики и вычислительной техники.

Есть несколько более изящное и менее интуитивное деление наук с помощью методов, которые они применяют. Все науки делятся на эмпирические («опытные») и формальные, в которых опыт невозможен, так что процесс познания строится на рассуждениях. К ним относятся математика, логика и философия. Однако и это деление не статично: например, квантовая космология — раздел физики — вплотную приближается к пределу, когда наблюдения и опыт станут невозможными.

О химии такого сказать нельзя. Возможно, химия — это главная эмпирическая наука, если под этим термином подразумевать именно сконструированный человеком опыт, а не наблюдение окружающего мира и выявление закономерностей. В химии созерцание и описание дает очень мало: чтобы разобраться в составе окружающих веществ и их устройстве, над ними нужно провести опыты. В детстве моим любимым химиком был Карл Шееле. Этот шведский ученый-саморо-

док XVIII века, которому предлагали университетские кафедры и избрали в Шведскую академию наук, не имел даже высшего образования. Зато у него была аптека, в которой он работал, и руки. О том, как важно «иметь руки», знает каждый студент-химик, причем руки или есть, или нет. Можно выучить теорию, можно выучиться технике эксперимента, но руки так и останутся (я думаю, вы примерно поняли, о чем речь).

Так вот, руки в далеком XVIII веке открыли и выделили несколько десятков всем известных сегодня веществ — от хлора и перманганата калия («марганцовки») до мочевого и синильной кислот. Шееле также — опытным путем — установил два основных компонента воздуха (только называл он их по-другому — не кислород и азот, а «огненный воздух» и «флогистированный воздух»).

Но мое восхищение вызывало не это. Зрительная информация дает в химии крайне мало, и сейчас эта проблема преодолена с помощью десятков разнообразных физико-химических методов исследования вещества.

Однако во времена Шееле этого не было, а потому в качестве дополнительного описания ученый использовал вкус и запах, которые он определял лично. Он так и умер: его нашли в лаборатории среди реактивов (по одной из версий, он описывал вкус синильной кислоты). По-моему, такая методологическая верность своей науке не может не очаровывать.

«МАРКИ» РЕЗЕРФОРДА

Думаю, что романтический пуризм — конечно, калька моего восприятия разделенных наук XX века. Наши предшественники пользовались теми методами, которыми владели сами, и видели себя, наверное, естествоиспытателями в целом, а не химиками или физиками. Эту клас-

Химия — нелюбимое дитя в семействе естественных наук



→ сификацию мы «надели» на них сами гораздо позже. Однако как только классификация возникла, она сразу вызвала и попытки стратифицировать науки по шкале важности. В частности, первыми ощутили себя не в своей тарелке в химии физики.

Дверь в страдания физиков в химии открыл Эрнест Резерфорд — знаменитейший ученый, отец ядерной физики, учитель Петра Капицы, которого тот звал Крокодиллом. Резерфорд в 1908 году получил Нобелевскую премию по химии: он объяснил радиоактивное превращение химических элементов, предложил планетарную модель атома. И даже если фраза «Вся наука — или физика, или коллекционирование марок» приписывается ему ошибочно, ее расхожесть демонстрирует распространенность снисходительного отношения к химии. В дальнейшем физики продолжали получать нобелевки по химии: они касались либо разработок особенно пригодившихся в химии методов, либо исследований химических элементов. Среди знаменитых физиков — «химиков» Мария Склодовская-Кюри, а также ее дочь и зять.

Первой ласточкой физических методов в химии стал Фрэнсис Уильям Уэстон, он изобрел масс-спектрограф, с помощью которого открыл много нерадиоактивных изотопов. Эта традиция продолжается всю историю нобелевки. Так, в 2017 году ее получили два биофизика — Жак Дюбоше и Иоахим Франк (а с ними биолог Ричард Хендерсон), которые применили и усовершенствовали криоэлектронную микроскопию высокого разрешения для определения структуры биомолекул в растворе. Вся Россия ждет, что тех же почестей будет удостоен научный руководитель Флёрвской лаборатории в ОИЯИ Юрий Цолакович Оганесян — один из отцов

Химия, на словах оставаясь за кулисами, насаждает свои методы там, где 500 лет назад был в лучшем случае анатомический театр

синтеза сверхтяжелых элементов, которые сейчас продляют Периодическую таблицу. Физик, конечно. Оганесян делал доклад на открытии Года Периодической таблицы в Париже в ЮНЕСКО. Возможно, в 2019 году и не Нобелевский комитет все-таки решит обратить внимание на таблицу, а сами потенциальные лауреаты не будут столь категоричны, как когда-то Резерфорд.

Есть и обратные примеры: Андрей Гейм и Константин Новосёлов получили в 2010 году нобелевку по физике за открытие графена. Его можно рассматривать и как химическую работу: графен — одна из аллотропных модификаций углерода, наряду с графитом, алмазом и другими.

Однако вряд ли какое открытие аллотропной модификации, пусть и редкой, может оказаться достойным такой высокой награды в сфере химии. А физики оценили эту работу (выполненную, кстати, физиками), потому что графен с

физической точки зрения обладает поразительными, почти невозможными свойствами.

СТРАСТИ ПО БИОХИМИИ

Биологические тематики тоже отмечались нобелевками по химии практически с момента основания премии. Эдуард Бухнер получил в 1907 году Нобелевскую премию по химии за биохимические исследования внеклеточной ферментации и выделения зимазы. 111 лет спустя, в 2018 году Фрэнсис Арнольд, Джордж Смит и Грег Уинтер получили премию за исследование ферментов и антител. Химия это или нет? Думаю, да, потому что везде, где речь идет о реакциях и превращениях молекул, окажутся люди, прошедшие сильную химическую, а не чисто биологическую школу. Другое дело, что чем больше мы погружаемся в познание челове-



ского и других живых организмов, тем чаще, даже в медицинских исследованиях, мы доходим до этого фундаментального молекулярного уровня. Так что химия, на словах оставаясь за кулисами, насаждает свои методы там, где 500 лет назад был в лучшем случае анатомический театр, а в худшем — совсем уж гуманитарная молитва. Как когда-то физика принесла фундаментальное понимание в химические процессы, теперь химия аналогичным образом углубляет понимание биологических процессов и заставляет говорить на своем языке.

«Сожмется» ли химия, «вырастут» ли биология или физика? Ставить вопрос таким образом побуждает нас привычный рубрикатор наук. Знаний становится больше, сами предметные области дробятся, а число подходов к исследованию одного и того же объекта — растет, так как разные подходы позволяют получить разные данные. В идеальном мире одно и то же сердце изучают физик, физиолог, молекулярный генетик, биохимик, врач, и этот список можно продолжать. Каждый из них прошел свою школу и владеет своим методом, а ключевая сложность — собрать полученную информацию воедино и понять, что и как нужно применить для решения поставленных задач. Уметь понять научный язык, работу и результаты коллеги, при этом сохраняя свой собственный подход и понятийный аппарат, сопоставить чужие данные со своими и увидеть общую картину — один из ключевых вызовов для современного ученого.

ПОСЛЕСЛОВИЕ

А что же Дмитрий Иванович Менделеев? Почему именно он удостоился чести быть отмеченным целым годом празднования под эгидой ЮНЕСКО? Я думаю, внимание к его персоне и к Периодическому закону совершенно заслуженно. Менделеев — главный химик человечества. Пото-

му что он смог без привлечения каких-либо физических данных или математического аппарата сформулировать теорию, по уровню фундаментальности не уступающую Стандартной модели элементарных частиц. Это не значит, что Менделеев был химиком-теоретиком: в его времена и понятия такого не существовало. Менделеев был химиком-экспериментатором, химиком-преподавателем, химиком-технологом. Его перу принадлежат учебник по органической химии, важные работы в сфере физической химии, прикладные разработки. Невероятная сила его была в том, что изо всех этих деталей своей работы и данных других людей — частных, продиктованных прак-

тическими задачами, — он одной силой мысли создал полную картину. «Химическая интуиция», известная каждому химику: вот так реакция пойдет, а так — вряд ли, вот

такая конфигурация молекулы возможна, а такая — нет — была, наверное, развита в нем как ни в ком другом. Настолько, что все обрывочные, противоречивые и недостаточные сведения о химических элементах сложились у него в общую картину.

Во времена Менделеева не знали строения атома, понятия изотопов, не знали благородных газов как класса и вообще доброй половины элементов современной периодической таблицы, причем неизвестные элементы были иногда легче по атомному весу, чем известные, тем самым сбивая с толку исследователей. Несмотря на это, Менделеев отметил периодичность свойств элементов, связал их с весом, собрал в визуальную картину, а затем указал, какие элементы еще нужно искать. С тех пор и физики, и химики-синтетики подтверждают и подтверждают подход Менделеева. Но он сделал открытие, не обладая для этого ни аппаратом ядерной физики, ни достаточными химическими данными. Интуиция! **эн**

Возможно, химия — это главная эмпирическая наука



✍ Николай Горькавый,
советский и российский астрофизик,
ведущий аналитик компании «Science Systems
and Applications», автор серии научно-популярных
книг и научно-фантастической трилогии
«Астровитянка».

Вселенная: новая модель

Открытие гравитационных волн в 2016 году дало новый толчок космологии: пересмотр старых теорий, зарождение новых.

В прошлом номере журнала мы обещали обсудить удивительную модель, по которой Вселенная на 99% состоит из гравитационных волн, а на оставшийся 1% — из черных дыр, барионов и фотонов с примесью других частиц. Насколько эта теория реальна и что думают об этом ученые, читайте в нашем материале.

ГРАВИТАЦИОННО-ВОЛНОВАЯ РЕВОЛЮЦИЯ

В 2016 году произошла научная революция: стало известно о регистрации гравитационных волн с частотой в десятки герц. Это был ожидаемый в рамках теории Эйнштейна результат, который содержал и неожиданное: черные дыры, порождающие при слиянии гравитаци-

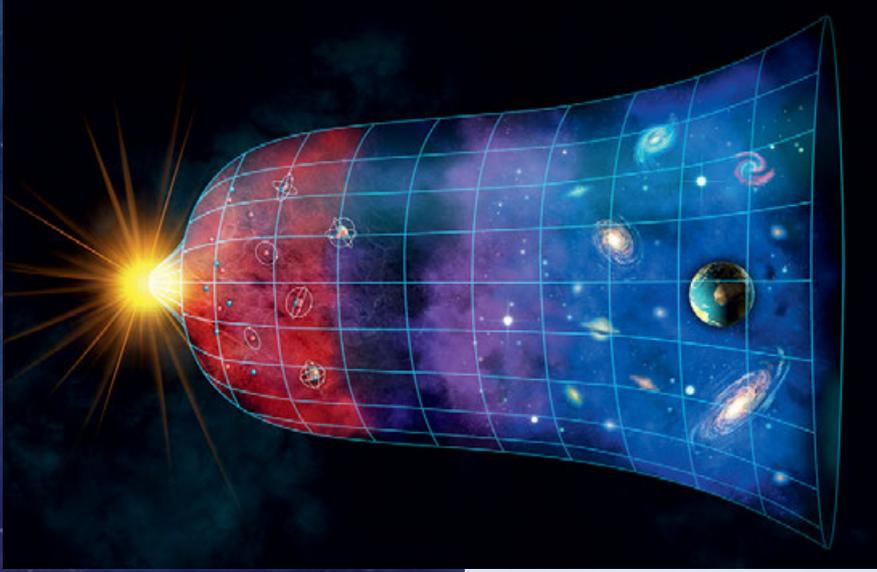
онные волны, оказались более многочисленными, чем полагалось ранее. Сразу появилась статья Симеона Бёрда с соавторами, куда входит нобелевский лауреат Адам Рисс, о том, что обнаруженная популяция черных дыр и является таинственной темной материей. Эта модель набирает популярность, вписываясь в требование основываться только на известных компонентах Вселенной.

Идея, что основная гравитирующая масса Вселенной спрятана в черных дырах, может оказаться путеводной нитью, которая выведет космологию из лабиринта, населенного волшебными квантовыми джиннами. Включим новую популяцию черных дыр в гамовскую модель отскока — и сожжем Вселенную до размера в десяток световых лет. В такой тесноте черные дыры начнут лавинообразно сливаться, уменьшая свою суммарную массу и переводя ее в гравитационные волны. В ходе этих слияний неизбежно возникнет самая Большая Черная Дыра и появится облако гравитационных волн с огромной энергией.

Вспомним разные интерпретации «ненастоящей» энергии гравитационного поля: одни ученые думают, что гравитационная масса Вселенной от генерации гравитационных волн не изменяется, другие — что она уменьшается. Последняя трактовка выглядит многообещающе, хотя отпугивает тех, кто видит здесь нарушение закона сохранения энергии (на самом деле закона сохранения гравитационной массы не существует, ведь закон сохранения энергии относится к инертной массе). Что происходит со Вселенной, гравитационная масса которой уменьшается?



*Компьютерная симуляция
слияния двух черных дыр,
от которого впервые
были зарегистрированы
гравитационные волны.
Источник: ligo.caltech.edu.jpg*



Расширение Вселенной

АНТИГРАВИТАЦИЯ ХУДЕЮЩЕЙ ВСЕЛЕННОЙ

Польский ученый Марек Кутчера в 2003 году получил модифицированную метрику Шварцшильда для переменной гравитационной массы взрывающейся звезды. Аналогичная метрика пространства-времени для системы, генерирующей гравитационные волны, была опубликована мной совместно с Александром Васильковым (ведущий научный сотрудник компании Science Systems and Applications, выпускник ФАКИ МФТИ — прим. ред.) в журнале Королевского общества (MNRAS) в 2016 году. Для этой метрики было вычислено гравитационное ускорение и показано, что, согласно решению эйнштейновских уравнений, быстрое уменьшение массы Вселенной генерирует мощную отталкивающую силу, которая может превосходить гравитационное притяжение.

Обнаруженная популяция черных дыр и является таинственной темной материей

Антигравитация оказывается классической гравитационной силой, только возникает она при выворачивании потенциала пиком вверх — из-за уменьшения гравитационной массы и конечной скорости распространения изменения гравитации. Логично предположить, что эта антигравитация и вызывает Большой Взрыв: расширение огненного шара сжатой Вселенной, состоящего из гамма-

Оказывается, если во Вселенную добавить достаточное количество сливающихся черных дыр, то они могут сработать лучше любой взрывчатки и вызвать гравитационный потенциал с наклоном наружу. Возникновение отталкивающего потенциала хорошо изучено на примере слияния двух неодинаковых черных дыр. Возникшая в результате суммарная черная дыра скатывается по остаточному отталкивающему потенциалу и с большой скоростью улетает от точки слияния. В 2003 году я показал в бюллетене Американского астрономического общества, что отталкивающая сила возникает даже в ньютоновской гравитации, если учесть переменную гравитационную массу и конечную скорость распространения поля. В результате, кроме классического притяжения, возникает дополнительное слагаемое, описывающее или «антигравитацию» при уменьшении массы тела, или «гипергравитацию» при ее увеличении. Новая релятивистская сила зависит от скорости света и падает с расстоянием как $1/R$ — гораздо медленнее, чем ньютоновское ускорение $1/R^2$. Поэтому новая сила становится доминирующей на космологических расстояниях.

ГИПЕРГРАВИТАЦИЯ КАК ТЕМНАЯ ЭНЕРГИЯ

На фазе расширения Вселенной слияние дыр почти прекращается, и они начинают расти, поглощая все вокруг, включая реликтовое гравитационное излучение. У черных дыр маленькие рты (то есть площадь поверхности), поэтому они толстеют медленно, но Большая Черная Дыра исключение: у нее огромная пасть — и она обгоняет в росте все остальные дыры. Она переводит «ненастоящую» нетензорную энергию гравитационных волн в настоящую энергию и массу черных дыр, отчего гравитационная масса Вселенной начинает восстанавливаться до предыдущего значения. Рост этой массы системы вызывает эффект «гипергравитации». В феврале 2018 года мы с Александром Васильковым опубликовали еще одну статью в MNRAS, где были получены модифицированные уравнения Фридмана и показано, что гипергравитация растягивает окружающее нас поле галактик. Поэтому в уравнениях Фридмана появляется космологическая постоянная, причем ее теоретическая оценка хорошо совпадает с наблюдаемым значением. Таким образом, отпадает необходимость введения «темной энергии».

Относительное взаимное ускорение расширения набора галактик происходит на фоне абсолютного торможения разлетающейся Вселенной. Как такое возможно? Гравитационное поле часто моделируют резиновой пленкой, которую тяжелый шар вытянул воронкой вниз. Разместим на пленке колонну легких автомобильчиков, выбирающихся из потенциальной ямы по радиальной трассе. Что произойдет, если шар быстро дернуть вверх? За ним конусом потянется резиновая →

→ пленка, потому что скорость распространения возмущения по пленке конечна. Когда этот конус распространится до нашей автоколонны, то машины почувствуют мощный толчок, выталкивающий их наружу. Это антигравитация, или Большой Взрыв.

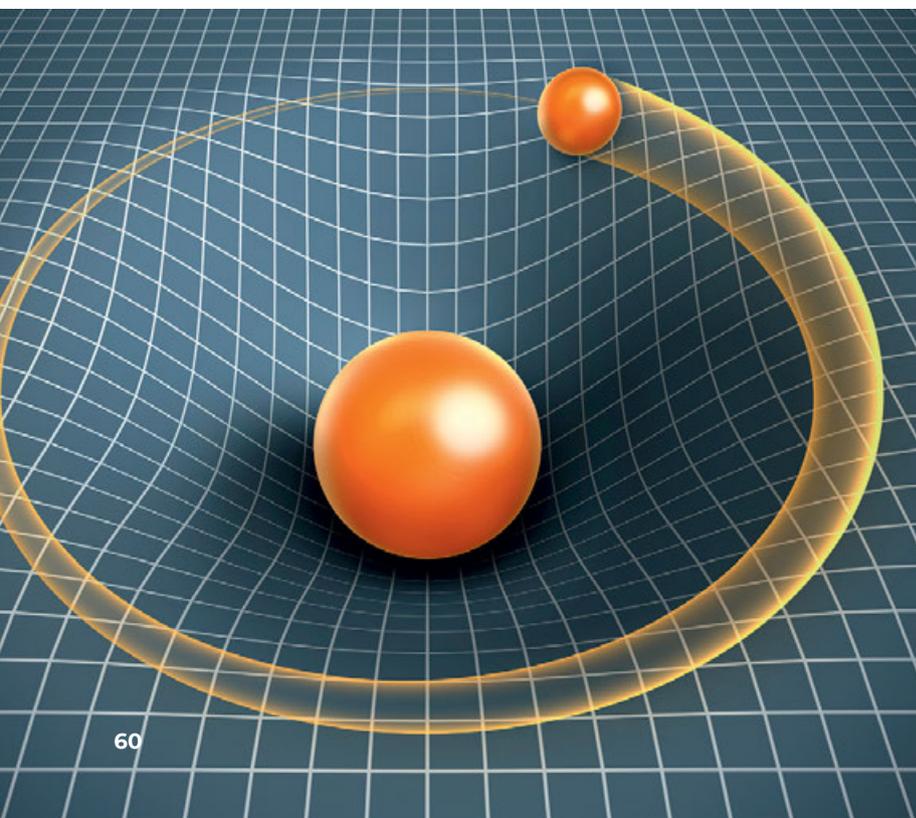
Что будет, если шар, наоборот, увеличивает свою массу? Тогда воронка будет углубляться, а цепь из автомобильчиков, которые являются аналогами галактик, будет растягиваться. Это интерпретируется как современное ускорение Вселенной. Но если на ночной дороге задний автомобиль ускоренно отстает от переднего, локальные наблюдатели не могут определить — связано ли это с ускорением первой машины, или с торможением последней. Но теоретик с правильными формулами эквивалентен абсолютному наблюдателю и знает истину: поле наблюдаемых галактик растягивается со слабым относительным ускорением на потенциале тормозящейся Вселенной с растущей массой. Так гласит математическое решение уравнений Эйнштейна.

99% ВОЛН

В совместной статье с Васильковым и Мазером, которая вышла в сборнике конференции «Исследование темной стороны Вселенной», была оценена плотность среды гравитационных волн, при поглощении которых Большая Черная Дыра генерирует наблюдаемую космологическую постоянную. Плотность энергии, необходимая для питания этой огромной космологической машины, оказалась близка к критической плотности вещества во Вселенной — всего в 25 раз больше нее. Это примерно половина массы электрона в каждом кубическом сантиметре. Если принять эту оценку, то получится впечатляющая картина Вселенной, которая состоит на ~99% из гравитационного излучения и на ~1% из черных дыр, барионов и фотонов с примесью других частиц, причем на черные дыры приходится львиная доля этого процента.

Новая космология отскока представляет собой хорошо разработанную классическую космологию отскока с включением гипотезы Бёрда–

Гравитационное поле часто моделируют резиновой пленкой, которую тяжелый шар вытянул воронкой вниз



Вселенная оказалась красивым и достаточно простым классическим объектом, не более квантовым, чем галактики или звезды

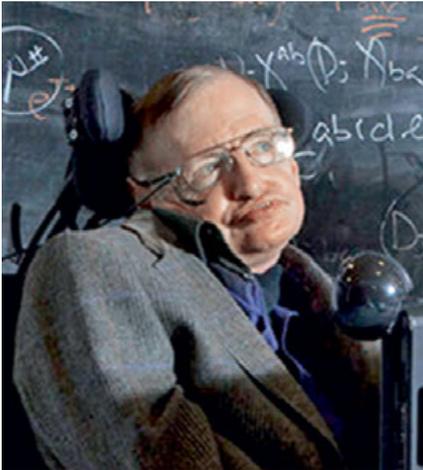
Рисса о темной материи из черных дыр, что сразу дает отсутствовавшую пружину для Большого Взрыва. Добавление в картину мира фона гравитационного излучения и учет ответного роста черных дыр объясняет современное ускорение Вселенной. При всей необычности новой модели мира, она полностью вписывается в рамки жестких ограничений для космологической супермодели.

Вселенная оказалась красивым и достаточно простым классическим объектом, не более квантовым, чем галактики или звезды. Она в крупных масштабах управляется только общей теорией относительности и не требует новых теорий, гипотетических частиц, полей или измерений. Из новой теории можно вывести целый ряд возможных наблюдательных следствий: распределение черных дыр по массам, объяснение анизотропии космологического излучения, снятие противоречий в измерении постоянной Хаббла–Леметра и т.д. Ключевым свидетельством в пользу новой космологии отскока будет обнаружение высокочастотных гравитационных волн, составляющих основную часть энергии Вселенной.

КАНТИАНСКИЙ ФЕНИКС

Космология отскока получила надежную и убедительную теоретическую основу. Можно ли на этой базе построить циклическую космологию? Забегая вперед, ответим утвердительно: для циклической Вселенной, пульсирующей в огромной черной дыре, найдено элегантное решение проблемы роста энтропии, которое тесно связано с судьбой непрерывно растущей Большой Черной Дыры.

Вселенная представляет собой маятник с перетеканием энергии между главными компонентами — негравитирующими гравитационными волнами и гравитирующими черными дырами, — что приводит к периодическому изменению общей гравитационной массы Вселенной. Она действительно оказалась бессмертным кантианским фениксом, который ухитряется восстать из пепла, даже состоящего из неуничтожимых черных дыр. Циклическая модель объясняет механизм накопления темной материи в виде черных дыр, а также решает загадку раннего происхождения сверхмассивных, в миллиарды масс солнца, черных дыр в центрах галактик.



Стивен Хокинг

Развитие космологической супер-модели Гамова — привлекательная область для наблюдателей и теоретиков. Но нельзя недооценивать инерцию, накопленную квантовой космологией. Стивен Хокинг в знаменитой книге «От большого взрыва до черных дыр» писал: *«По моему личному мнению, новая инфляционная модель сейчас мертва как научная теория, хотя многие люди, похоже, не слышали об ее кончине и все еще пишут статьи, как будто она жизнеспособна».*

Квантовая космология исходит из смелой гипотезы, что динамика Вселенной определяется квантовыми эффектами. Несмотря на усилия тысяч ученых и потраченные миллиарды долларов, не было получено ни одного прямого экс-

периментального подтверждения или надежного теоретического обоснования этой гипотезы. Изучение Вселенной фактически разделилось на классическую астрономию и квантовую космологию. Последняя активно пропагандирует среди широкой публики свои экзотические модели, параллельные миры и мультивселенные. Но среди классических астрономов этот пряный товар продается плохо: квантовой астрономии так и не возникло, а модели Вселенной, возникшие в результате квантового космогенеза, ориентированы на домашнее употребление самими космологами.

Один ведущий российский астроном признался мне, что давно перестал следить за происходящим в космологии. Наука старается объяснить непонятное с помощью известного, поэтому классическим ученым трудно согласиться с тем, что в современной космологии одно непонятное объясняется другим, еще более загадочным. В результате Вселенная получила статус невероятно сложного объекта. Королевский астроном Мартин Рис уныло сказал, что люди со своими слабыми мозгами, может быть, никогда не узнают, как на самом деле устроена Вселенная — как мартышки, которые обречены на непонимание теории Эйнштейна.

Возрождающаяся космология Гамова, напротив, проста и красива, поэтому неизбежно будет прирастать сторонниками. Главная сенсация нашей статьи, опубликованной в сборнике конференции, заключается в первом разделе, который называется «Большие космологические вопросы» и написан нобелевским лауреатом Джоном Мазером. Он задается вопросами, которые представляют несомненный интерес. Цитаты двух других нобелевских лауреатов, Жерара т'Хоофта и Филиппа Андерсона, убедительно поддерживают рассуждения Мазера: т'Хоофт — активный противник тех, кто пытается втащить гравитационную энергию в источники гравитационного поля. Андерсон же прозорливо указывает на то, что переход массы черных дыр в гравитационные волны может объяснить феномен «темной энергии». Этот текст можно назвать космологическим меморандумом трех нобелевских лауреатов, чья область экспертизы охватывает космологию, теорию гравитации, квантовые поля и элементарные частицы. Отмахнуться от мнения таких людей — значит перестать задавать себе и природе «большие вопросы».

Крушения теорий являются нормой в истории науки: так, в свое время, невзирая на отчаянные усилия алхимиков, погибли теории философского камня, флогистона и эфира. Забавно, что «квинтэссенция», термин средневековых алхимиков, весьма популярен в инфляционной космологии. Полагаю, что под давлением наблюдательных данных фантастическая вавилонская башня квантовой космологии скоро развалится, а моделирование Вселенной вернется в рамки классической астрономии. →

Статьи, упоминаемые в материале:

1. Nick Gorkavyi, Alex ander Vasilkov, 2016, MNRAS, 461, 2929-2933.
2. Nick Gorkavyi, Alex ander Vasilkov, 2018, MNRAS, 476, 1384-1389.
3. Nick Gorkavyi, Alex ander Vasilkov, John Mather «A Possible Solution of the Cosmological Constant Problem», 2018. Eds. B. Vachon and P. Petroff. Proc. 2nd World Summit: Exploring the Dark Side of the Universe, 25-29 June, 2018, Guadeloupe, France).

ОБСУЖДЕНИЕ

→ Любая новая теория должна быть подвергнута критике, поэтому мы обратились к ученым с просьбой прокомментировать работу Николая Горькавого, Александра Василькова и Джона Мазера.

**МИХАИЛ ИВАНОВ,
к.ф.-м. н., доцент кафедры
теоретической физики
МФТИ:**

В своих статьях Николай Горькавый декларирует использование только общей теории относительности (ОТО) и известных форм материи. Это облегчает написание отзыва, поскольку ряд содержательных замечаний можно высказать без углубления в детали вычислений.

1. В стандартной ОТО вопрос о том, является ли гравитационная энергия источником гравитационного поля, решен при создании теории отрицательно. Гравитационное поле — единственное поле, описываемое геометрией пространства-времени, оно описывается принципиально иначе, чем все остальные поля и частицы (называемые в ОТО полями материи).

Для гравитационного поля (т.е. для пространства-времени) не определен тензор энергии-импульса. Хотя поля материи могут обмениваться с пространством-временем и энергией, и импульсом, энергия и импульс пространства-времени не могут быть локализованы (привязаны к какой-то области пространства). Вопрос об описании энергии и импульса гравитационного поля до сих пор является

предметом теоретических исследований.

Однако, как и в других областях физики, если в данном случае мы рассматриваем усредненную геометрию пространства-времени, то ситуация меняется. Так, в механике, рассматривая окружающие объекты как упругие тела, пренебрегая молекулярной структурой, мы теряем всю информацию о термодинамических свойствах. В космологии мы заменяем реальную геометрию пространства-времени пространственно-однородной и изотропной фридмановской вселенной, пренебрегая на этом фоне «мелкими» возмущениями, связанными с неравномерным распределением вещества и гравитационными волнами. Такое сглаживание при аккуратном рассмотрении предполагает усреднение уравнений Эйнштейна, в которые будет входить уже сглаженная геометрия, но вклад малых возмущений останется. Его можно называть взаимодействием гравитационных волн с усредненным гравитационным полем. Изучению этого вклада, судя по моему опыту (я использую в работе ОТО, но не являюсь космологом), в космологии не уделяется достаточного внимания. Этот эффект должен дать некоторый вклад в то, что сей-

час называют темной энергией и темной материей.

В работах Николая Горькавого эффект гравитационных волн исследуется через изучение движения пробной частицы. На мой взгляд, такое исследование может рассматриваться только как предварительное. Надежные результаты должны быть получены путем исследования уравнений Эйнштейна для полей материи и гравитационных волн на фоне усредненной геометрии пространства-времени.

2. Николай выражает надежду, что учет гравитационных волн позволит не только объяснить ускоренное расширение Вселенной (приписываемое в настоящее время темной энергии), но и описать «отскок», при котором сжатие Вселенной сменяется расширением. По существу это означает избавление от сингулярности при рождении Вселенной (сингулярности не могут быть описаны в рамках ОТО). И опять, это предполагается для классической (т.е. не квантовой) ОТО и обычных полей материи.

Данные надежды представляются необоснованными. Доказанные Хокингом и Пенроузом теоремы о сингулярностях показывают, что в рамках ОТО для «обычных» полей материи (для которых давление не пре-

вышает плотности энергии) в достаточно сильных гравитационных полях сингулярности неизбежны. В частности, расширяющаяся Вселенная неизбежно начинается с сингулярности. Данные теоремы не сглаживают пространство-время, тем самым возможное влияние гравитационных волн в них уже учтено. В рамках рассматриваемых статей я не нашел обсуждения теорем о сингулярностях, что, на мой взгляд, снова показывает, что

намеченная автором исследовательская программа не только не закончена, но и в некотором смысле еще не начата.

Для избавления от сингулярностей надо выйти из-под условий соответствующих теорем, для чего нужно либо модифицировать ОТО, либо допустить экзотические формы материи (гравитационные волны не предлагать), либо осуществить вековую мечту физиков и построить квантовую теорию гравитации.

**АЛЕКСАНДР ГУЦ,
д.ф.-м.н., профессор,
декан факультета
компьютерных наук ОмГУ:**

Прочитал статьи Горькавого, Василькова и Мазера за 2016 и 2018 годы. Захватывающе. Ничего лишнего, законченная теория в том смысле, что используется только то, что наработано за сто лет. Объяснение Большого взрыва наконец-то дается в простых образах и исходя из сущностей, присущих самой Вселенной.

ОТВЕТ

НИКОЛАЙ ГОРЬКАВЫЙ:

Эффект антигравитации при уменьшении массы является фундаментальным для космологии, но в обсуждаемых работах он был изучен лишь для случая слабого поля: вдали даже от радиуса Шварцшильда, не говоря уж о центральной сингулярности. Но вряд ли природа, имея механизм антигравитации, работающий в слабых гравитационных полях, стала бы изобретать что-то новое для сильных полей. Поэтому я выражаю логичную надежду, что Большой Отскок (или Большой Взрыв) тоже будет объяснен с помощью данной антигравитации, что одновременно избавит Вселенную от бесконечных плотностей и сжатия в точку.

Как быть с теоремами о неизбежности сингулярности при гравитационном коллапсе? Обратимся к обобщающей статье S. W. Hawking, R. Penrose «The singularities of gravitational collapse and cosmology» (1970),

где авторы детально обсуждают область применимости своих теорем. Ученые честно пишут, что их теоремы работают только для теорий со «всегда притягивающей гравитацией». Они неприменимы к системам, которые имеют положительную космологическую постоянную или в которых гравитация не всегда притягивает — в качестве примера Хокинг и Пенроуз приводят теорию Хойла–Нарликара.

В нашей модели доказана возможность антигравитации: уменьшение гравитационной массы с учетом релятивистского запаздывания привело к появлению члена ускорения с эффективной «отрицательной массой». Поэтому наша модель выходит из зоны действия теорем Пенроуза–Хокинга, а также указывает на изящный вариант избавления от бесконечных плотностей, которые Мизнер, Торн и Уилер называют кризисом в физике. При коллапсе гравитационная сила растет как

$1/R^2$, а генерация гравитационных волн — как $1/R^5$, поэтому нельзя сжать Вселенную в точку: любая масса просто превратится в облако гравитационных волн. Статья с таким решением проблемы сингулярности уже готовится к печати.

Безусловно, обсуждаемые результаты являются предварительными и требующими дальнейшего анализа. Развить космологическую теорию инфляции пытаются 9 тысяч специалистов (по подсчетам самих инфляционистов). Надеюсь, хоть несколько космологов смогут оторваться от квантовых мечтаний и заняться изучением реальной Вселенной в рамках классической и проверенной ОТО, в которой обнаруживаются такие увлекательные возможности.

Я благодарю двух видных гравитационистов, д.ф.-м.н. Александра Гуца и к.ф.-м.н. Михаила Иванова, за проявленный интерес к нашей работе и их отзывы. **эн**

✍ Александр Караваев

Счастливого плавания

Меньше года назад МФТИ совместно с ведущими институтами РАН создал в своих стенах девять академических лабораторий. Редакция «За науку» не смогла пройти мимо этого события, тем более что каждое заявленное научное направление вызывает невероятный интерес. В этом номере мы расскажем (на наш взгляд) о самом романтичном — лаборатории геофизических исследований Арктики и континентальных окраин Мирового океана. Айсберги, нефть, белые медведи, северный полюс, ледоколы, микроземлетрясения, цунами, глобальное потепление — все это можно встретить здесь, на четвертом этаже нового корпуса МФТИ Физтех.Арктика.



ГЕОПОЛИТИКА

Заведующим лабораторией геофизических исследований Арктики и континентальных окраин Мирового океана стал член-корреспондент РАН, руководитель геологического направления Института океанологии РАН Леопольд Лобковский.

Почему же Арктика? Сегодня почти вся карта Земли исцарапана территориями стран и перекрашена зонами влияния. А Арктика — это регион, спрятавшийся от человека за айсбергами, морозами и Северным ледовитым океаном. Она все еще не разделена государствами, борющимися за глобальное превосходство. *«Вообще, Арктика — это место, где сегодня сосредоточены все мировые проблемы. Климат, геополитика и выживание белых медведей»*, — считает Леопольд Лобковский. Там огромная кладовая полезных ископаемых и Севморпуть, который сокращает, например, плавание из Роттердама (Нидерланды) в Пусан (Южная Корея) на 10 дней по сравнению с маршрутом через Суэцкий канал. О важности Арктики для России говорит и тот факт, что наша самая длинная граница — арктическая.

Как ни странно, геополитический вопрос сейчас решается научным способом. Согласно Конвенции ООН по морскому праву, каждая страна с выходом в море царствует и повелевает лишь в своей прибрежной зоне — 12 миль. Дальше располагается 200-мильная зона исключительных интересов. Вся деятельность там происходит только с разрешения страны-хозяйки. *«Эту зону можно продлить и до 300 миль, и больше, если доказать, что континентальная кора под поверхностью дна уходит в океан»*, — рассказывает Леопольд Лобковский. — *«И здесь требуются знания геологии, геофизики, геодинамики, эволюции региона. Чтобы понять, как устроен шельф, надо понять, как развивался этот регион на протяжении последних 150 миллионов лет»*.

Россия оформляет заявку в ООН на расширение границ своего континентального шельфа в Арктике с 2001 года. Над этим будет работать и новая лаборатория, созданная для изучения дна Северного ледовитого океана, шельфа, глубинных полезных ископаемых, криолитозоны, мерзлотных (не теряем букву Л) форм рельефа, в том числе газогидратов. Это особый вид полезных ископаемых, представляющий из себя замороженный газ. Весьма неустойчивая система. Если немного повысить температуру, буквально на полградуса, — газ, сопровождаемый выбросами и взрывами, начинает выходить. А газ — это ресурс, его надо добывать. Более того, он сам «просится», чтобы его добыли. Практически весь шельф и прилегающая зона суши в Арктике покрыты газогидратами. Одна проблема: для добычи пока нет нужных технологий. Это еще одна задача лаборатории.



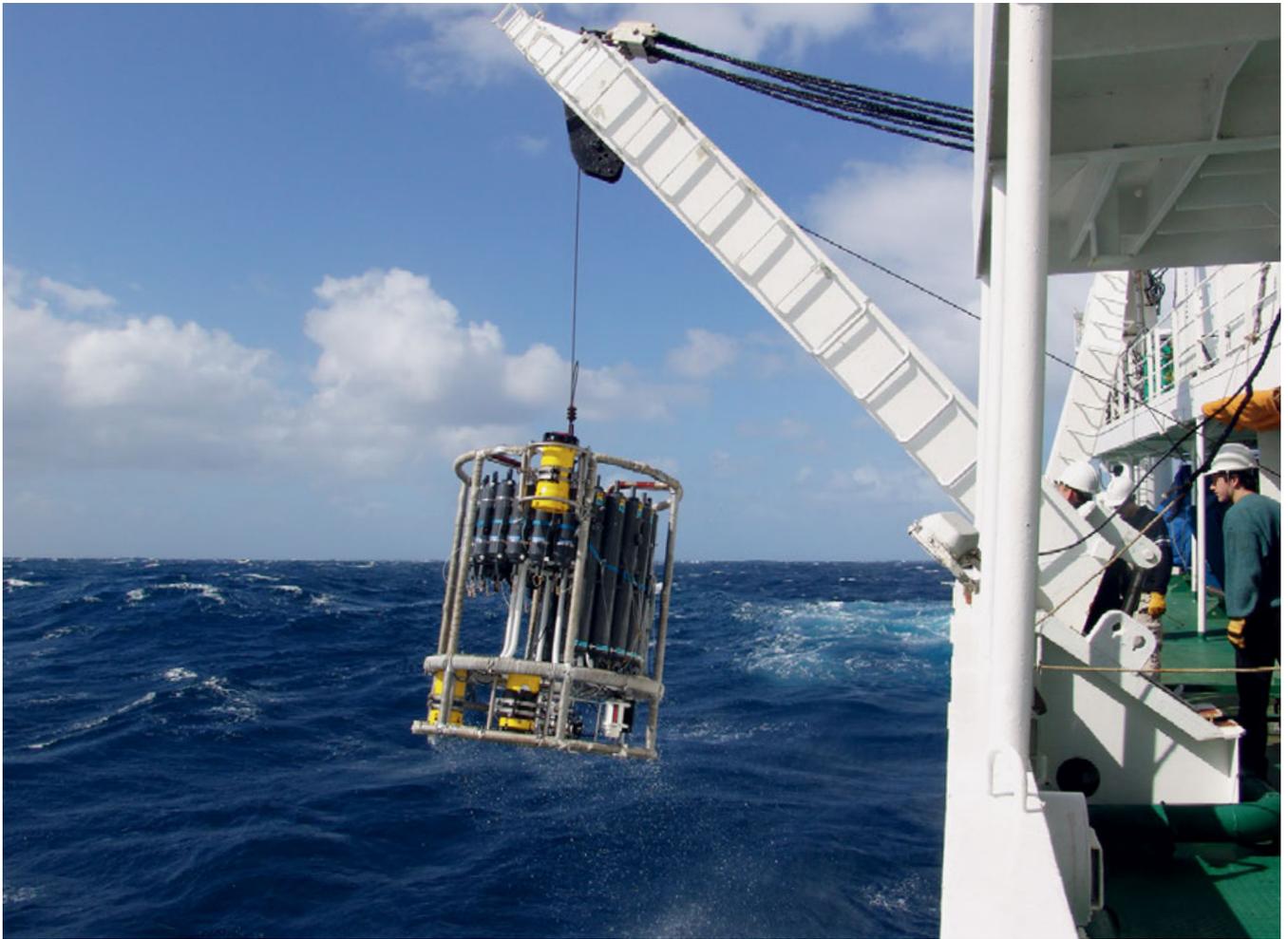


Фото Алексея Сокова

ЭКСПЕДИЦИИ

Одна из интереснейших особенностей лаборатории — обязательные экспедиции совместно с Институтом океанологии РАН, в Арктику в том числе. Ведь большинство прикладных задач не решить без работы на палубе. Экспедиции обычно длятся месяц. *«Каждый рейс — это маленькая жизнь, потому что ты полностью погружаешься в эту работу. Она сталкивает тебя с совершенно новыми ситуациями. Практически не бывает экспедиции, где не возникает какой-нибудь нештатной ситуации, которую не нужно потом срочно преодолевать, мобилизуя все свои силы»*, — делится Дмитрий Ильинский, старший научный сотрудник Института океанологии РАН.

«Экспедиция — это другое существование, понимаете? Вы там воздухом морским дышите. И белый медведь может показаться. Для студентов это другой мир. И обучение очень быстро идет, потому что ты лекцию прямо на корабле прослушал и тут же полученные знания применил. Идея вот такого “плавучего университета” у нас давно возникла, в этом году будем стараться реализовать», — рассказывает Леопольд Исаевич. Для этого лаборатория готовит магистерскую программу «Природные системы и безопасное освоение Арктики», поступить на которую

можно будет уже летом этого года. По ней будут готовить специалистов в первую очередь для решения прикладных задач, прежде всего в области разведки полезных ископаемых на море и в переходных зонах. И работа на палубе — это возможность учиться тому, что действительно пригодится в работе.

Студенты будут активно привлекаться, например, к обработке собранных во время экспедиций материалов. Настоящие асы своего дела (а российские обработчики считаются лучшими в мире) научат их интерпретировать геофизические данные, которые используются, например, для поиска нефти.

Интересен и сам процесс сбора данных. Например, специальное картирование дна с помощью лучевых эхолотов и профилографов. Идет экспедиция по контурному маршруту, и строится карта дна. Еще для изучения дна используются специальные шестиметровые «геологические трубки». Их бросают в воду, под силой тяжести трубка втыкается в дно на 4–5 метров. А потом запечатывает и поднимает образец породы на борт судна.

Арктика — сложный и малоизученный регион. А значит, у каждого будет шанс поучаствовать в разработке чего-то совершенно нового.



Донные сейсмические станции или сейсмометры (на фото) — разработка команды лаборатории, с которой ученые пришли на Физтех. Чтобы опустить такую станцию на дно, ее крепят к специальной плите, которая, к слову, не причиняет никакого экологического ущерба и растворяется после проведения исследований на компоненты морской воды и дна. Станцией управляют дистанционно, с помощью специальной программы можно включать или выключать не только сам регистратор, но и его отдельное оборудование (гидрофон, оксиметр, датчик давления, сейсмометр и т.д.). Собранные данные можно скачивать также дистанционно. Автономность у таких приборов тоже разная. Есть маленькие станции со временем работы 100 дней, есть те, что функционируют год. Их можно подзаряжать (как телефон) или просто менять батарейки.

Донные сейсмометры позволяют исследовать микроземлетрясения. Если же это целая серия станций, то система может изучать все происходящее под дном. В том числе залежи полезных ископаемых — нефти и газа, где основной инструмент — трехмерное изображение недр, получаемое сканами. *«Прибор с такими характеристиками, как у нашего, вы нигде не найдете, — рассказывает Дмитрий Ильинский. — Нам интересно не просто делать что-то и на полки класть, а чтобы приборы работали в реальных проектах, собирали данные для науки, для промышленности и для охраны окружающей среды».*



Дмитрий Ильинский, Артём Крылов, Леопольд Лобковский, Дмитрий Алексеев, Сергей Головин (слева направо)

СОСТАВ ЛАБЫ

Лаборатория геофизических исследований Арктики и окраин Мирового океана в МФТИ только начала свой путь. Ее стартовый состав – 8 человек.

Дмитрий Алексеев руководит магистерской программой лаборатории, а также занимается геодинамикой и электромагнитной геофизикой. Дмитрий Ильинский, геофизик. Разрабатывает донные станции. С ним работают Олег Ганжа и Артём Крылов, занимающиеся в основном донной сейсмологией и морской сейсморазведкой. Далее идет группа из трех человек – Григорий Стеблов, Ирина Владимирова и Юрий Габсатаров, – изучающая сейсмотектонические процессы и связанные с ними природные катастрофы – землетрясения и цунами. Причем не только в Арктике, но и в Мировом океане. Также в проектах лаборатории принимает участие Сергей Головин, отвечает за решение инженерно-геологических задач. В команде лаборатории есть и известный океанолог член-корреспондент РАН Игорь Семилетов, который организует экспедиции в Арктику уже на протяжении 15 лет, а также занимается исследованиями метановых выбросов и влиянием метановых извержений на климат – еще одна прикладная научная область, в которой будет работать лаборатория.

Уже известный факт, что температура в Арктике растет быстрее, чем в остальных частях нашей планеты. Многие ученые полагают, что это связано с выбросами метана как парникового газа. Хоть его и меньше, чем CO_2 , но с точки зрения потепления он гораздо эффективнее работает. В Арктике метан непрерывно выходит в атмосферу через шельф и прибрежные зоны. Эти новые процессы мало изучены и представляют собой довольно опасные явления. Исследованиями занимаются лишь последние десять лет. Впереди еще много открытий.

Особенно эти знания важны в разработке месторождений газа или нефти. Если нефтедобывающая платформа поставлена на газовые поля, то она может накрениться или взорваться. «Ключевой момент – выявить природу этого газа и где он образуется: в верхнем слое дна за счет микроорганизмов, или идет из глубины. Абсолютно разные вещи», – поясняет Леопольд Лобковский. **ЭН**

Лаборатория ждет студентов, которые хотят присоединиться к работе над интересными и одновременно весьма непростыми задачами. По вопросам магистратуры можно обращаться к Дмитрию Алексееву: alexeevgeo@gmail.com.



Человек из будущего

✍ Анна Дзарахова

Мысль, которая пришла мне в голову примерно в середине интервью: «Если хотите знать, как люди будут мыслить и жить лет через 20, познакомьтесь с Игорем Ефимовым». Во всяком случае, мне точно хочется в это верить.

Есть такое слово английское — «serendipity». Оно означает быть открытым к разного рода случайностям, то есть так построить свою жизнь, чтобы не смотреть в конец туннеля, а смотреть по сторонам. Говорить с людьми в самолете, в электричке или зайти на случайный семинар совершенно не по вашей специальности. Идете по коридору, увидели, что в лифте объявление: кто-то приехал — зайдите, послушайте. Не нравится — через пять минут можете выйти. Наверное, большинство этих встреч, разговоров или семинаров ни к чему не приведут, скорее всего, вы подумаете, что просто потеряли время, но те, которые приведут, полностью поменяют вашу жизнь.

Игорь Ефимов, выпускник ФОПФ МФТИ 1986 года, Ph.D, почетный член Американской ассоциации сердца и Общества сердечного ритма, Американского института медицинского и биологического инжиниринга, заведующий лабораторией физиологии человека МФТИ, декан факультета биомедицинского инжиниринга в Университете Джорджа Вашингтона в США, автор более 200 научных публикаций.

За последние 10 лет мы получили и исследовали более 500 человеческих сердец, которые не подошли пациентам. Меня спрашивали недавно в интервью, много ли я сделал открытий на сердце. Я сказал, что мы сделали много «закрываний», что не менее важно. Почему — потому что многие теории лечения разных заболеваний сердца основаны на каких-то открытиях в мыши, в кролике, еще в ком-то. А мы их закрыли, потому что человек — другой, вылечить вы никого на основе тех открытий не сможете. И ряд таких механизмов, которыми занимались многие лаборатории

долгие годы, где были потрачены целые жизни ученых и какие-то гигантские деньги, оказались никак не связаны с человеком.

Я никогда не занимался принципиально никакими секретностями, не буду работать ни с какими военными, ни с какими спецслужбами ни по каким вопросам.

Единственная возможность, чтобы научные результаты подтверждались, — это когда они полностью открыты. Как только начинаются какие-то барьеры, как только начинают прятать данные, под подушкой их обрабатывать — то жди беды. Смысл открытости не только в том, что сами данные должны быть опубликованы. Часто публикация данных не очень помогает, потому что их обработка — это еще один конек разных лабораторий. Поэтому и данные, и тот софтвер, который вы написали для обработки, и то «железо», которое вы сделали для проведения эксперимента, — все должно быть открытым.

Не уверен, что в науке культ «рок-звезд» полезен. Я встречал не так много нобелевских лауреатов, но я не был сильно удивлен их великим умом, прямо скажем. Можно назвать еще дюжину имен, которые внесли не меньший вклад, но они почему-то не получили премию.

Все равно в науке все знают, кто что сделал в своей области, и, в общем, дело не в Нобелевской премии, а в уважении коллег. То есть доверяют вам, ценят ваши результаты, ссылаются на вас. И это никакой не конкурс красоты, это членство в сообществе. Оно, конечно, элитарное, недемократичное. Но это то самое сообщество, которое решает мировые проблемы, меняя реально жизнь людей.

Я практически избавился от печатных книг, потому что почти перестал читать на бумаге. Другой вопрос, что есть исторические книги, которые уже напечатаны, деревья не надо для этого рубить. Поэтому я сохранил только старые издания, есть XVI и XVII века, например, перевод Пифагора с древнегреческого на латынь, изданный в 1571 году.

Мои студенты спрашивают: «Как вы читаете научную статью?» Я ее читаю на Айпед исключительно. Никогда не печатаю на бумаге, не извожу ее и считаю, что «перенаселения» деревьями у нас нет. Когда я вижу, что студенты, аспиранты печатают на бумажке, сидят и подчеркивают фломастером, я говорю: «Что ж ты делаешь? Давай я тебе куплю Айпед». Он говорит: «Нет, я люблю бумажку. Она пахнет как-то...». На мой взгляд, это неправильно.

«Войну и мир» надо читать. Каждые 20 лет, я бы даже сказал. «Опыты» Мишеля де Монтеня нужно обязательно прочитать. Я очень люблю его. Он был большим философом и политиком и многое понял в своей жизни. Его советы сохраняют свою правдивость и актуальность для нас сейчас. Из последних вышедших книг очень рекомендую «The Breakthrough» Чарльза Грэбера — про иммунотерапию.

Я хочу создать новый институт — Институт интерфейса между сердцем и искусственным интеллектом, Heart AI Interface Institute. Вот это моя мечта на следующие 5 лет.

Единственное, что меня выводит из себя, когда в погоне за успехом, грантами, публикациями и так далее люди просто теряют стыд и начинают публиковать всякую глупость. Несколько лет назад одна группа из Гарварда опубликовала статью в очень большом журнале в нашей области, Circulation. Они утверждали, что сердце человека обновляется со скоростью 20% клеток в год, а это является полной глупостью. Сердце не обновляется так быстро, если вообще обновляется. В статье откровенно была подделка данных. Более того, я эту статью тут же дал своим студентам и сказал: «Найдите пять ошибок». И они все сразу быстренько нашли. Не нужно быть большим специалистом, чтобы увидеть подделку данных. Тем не менее, она была опубликована в ведущем журнале. Более того, один из соавторов в статье был главным редактором этого журнала. Естественно, чудес не бывает. Через какое-то время не я один заметил подделки. Университет Гарварда отозвал статью, через несколько лет отозвал еще 30 статей этого завлаба. Выгнали его из Гарварда. Очень грустно, что это происходит. Как же можно, когда вы говорите о биологии, онкологии или кардиологии, реально влияете на жизни людей, вот этим заниматься в погоне за какими-то непонятными вещами? Это просто срам.

Всегда говорю, не бывает глупых вопросов. Глупый вопрос — это тот, который не задан.

Главное сейчас для студента — быть интеллектуально смелым по отношению к самому себе, в первую очередь. Если ты чего-то не понял на лекции, зачем ты тогда там сидишь? Уйди и не трать свое время, если тебе это неинтересно. Не бойся, что ты обидишь лектора. Или задай вопрос, проясни непонятное. Твое время — независимо от курса — такое же важное для тебя, как время твоего профессора. И нужно с уважением к своему времени относиться. **»**

Полное интервью с Игорем Ефимовым читайте на сайте zanauku.mipt.ru.



Не позволяйте посторонним хвалить вас

24 февраля 90 лет исполнилось Вадиму Конюхову, одному из первых выпускников Физтеха, ученику Александра Прохорова, вместе с которым он в 70-е годы изобрел газодинамический лазер рекордно высокой мощности, а позже разработал собственную теорию и методы разделения орто- и пара-воды. Сегодня Вадим Константинович — главный научный сотрудник Института общей физики им. А. М. Прохорова РАН, где занимается изучением особенностей движения молекул воды, обусловленных их симметрией. Ученый рассказал нашей редакции, почему получал плохие оценки на Физтехе, какими ему запомнились Лев Ландау и Пётр Капица и тяжело ли было работать под руководством нобелевского лауреата.

— Какой запомнили учебу на Физтехе?

— До Физтеха из Москвы мы добирались на поезде, который ходил рано утром с Савеловского вокзала. Тогда никаких электричек не было, а были поезда на паровозной тяге с плацкартными холодными и темными вагонами. Поэтому мы носили с собой аккумуляторные батарейки с маленькой лампочкой накаливания для того, чтобы можно было почитать.

Сам Физтех представлял собой один громадный корпус, который стоял посреди ровного поля. Единственный накатанный путь был для начальства, которое приезжало из Москвы на автомобиле. В здании было холодно, приходилось сидеть в верхней одежде. Мы учились с утра и до самого вечера — две пары лекций, перерыв, затем начинались семинарские занятия.

Также у нас были необычные для физиков предметы, например, сопротивление материалов, которое является центральным в технических вузах. Оказывается, что руководитель читал лекции по собственной теории прочности, а я все теории изучал по книгам. И каждый раз на зачете он упрекал меня, что я не могу ничего объяснить согласно его теории. И здесь прояснился фундаментальный факт: школьники совершенно не подготовлены к новому стилю обучения. Потому что как только я начинал слушать лектора, первый незнакомый мне посыл или фраза заставляли задуматься, и я отключался от всего остального.

У нас всегда были деньги на научные исследования, потому что всегда были военные заказы

— Каким вы запомнили Петра Капицу?

— Пётр Леонидович нам читал курс экспериментальной физики в большом лекционном зале МГУ. Так как он долгое время жил в Англии и работал у Резерфорда, то имел совершенно другое восприятие не только физики, но и того, как надо читать лекции. Для иллюстрации он обычно приносил тома Большой английской энциклопедии и, если нужно было рассказать что-то подробнее, то находил при нас нужное место и переводил его на русский язык.

Евгений Лившиц читал нам курс термодинамики так, как сам привык его понимать, без всякой скидки на состав слушающей его аудитории. Мы же не понимали ничего. 8 мая у нас был экзамен, его принимали Женя и Дау. И, естественно,

почти никто не сдал. После Женя сказал: «Слушай, Дау, я день радио отметил: группу радиофизиков провалил».

Ландау, кстати, тоже прочитал нам две лекции, они были посвящены классической механике. В первых рядах сидели сотрудники Института физических проблем. А мы, второкурсники, были на самых задних партах. Из этих лекций я ничего не понял и ничего не запомнил, хотя классическую механику я знаю, сам выучил. А те, кто его слушал, говорили: «Дау очень хорошо изложил механику, примерно половину общего курса он сумел вместить в две лекции». Вот так нас учили.



→ — После окончания Физтеха ваша научная деятельность была связана с Александром Прохоровым. Как к нему попали?

— На последних курсах у нас было три институтских дня, то есть три дня, когда мы были обязаны бывать в ФИАНе. Первое мое впечатление об этом институте было связано с библиотекой. Представьте себе большой, теплый, хорошо освещенный зал. Стоит круглый стол, где выложены журналы на русском, английском, немецком и французском языках. Ты подходил, брал этот журнал и мог посмотреть, что там написано!

Потом начались лабораторные занятия. Тогда Александр Михайлович Прохоров и забрал нас всех к себе. Вы знаете, какое первое задание мы получили? Каждый из нас должен был сделать стабилизированный источник питания. Потому что никаких продажных приборов, в том числе и обычных источников питания, в то время не было. Причем мы должны были с самого начала намотать силовой трансформатор со всеми выводами, которые требуются, и собрать ламповую схему. И потом уже, когда появлялся источник питания, мы могли делать что-то другое.

— В 1966 году вместе с Александром Михайловичем вы опубликовали принцип работы газодинамического лазера, а в 76-м уже существовали промышленные установки с большой мощностью непрерывного излучения. Как изменилась ваша профессиональная деятельность после этого события?

— За газодинамический лазер я получил две квартиры и докторскую степень. Но неудобство состояло в том, что все, кто работал над реализацией изобретения, принадлежали к закрытым учреждениям. Их нельзя было называть, их нельзя было цитировать. Доходило



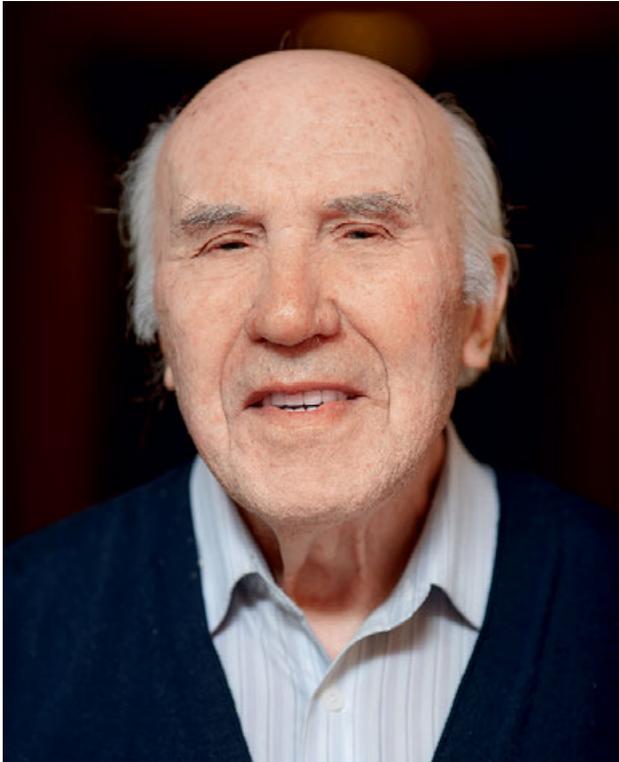
до совершенной глупости. Время от времени в их комнату мог войти сотрудник первого отдела и скомандовать: «Встать из-за стола!». Затем он обыскивал ящики, смотрел, какие книги кто читал... это я не говорю уже о том, как они обращались с секретными документами. Такая нагрузка волей-неволей ложилась на плечи тех, кто занимался, в том числе, газодинамическим лазером, потому что он имел военное применение. В то время все подобные проекты были закрытыми — я не мог публиковаться, не мог выезжать за рубеж, мне даже заявляли: «Что-то вы много путешествуете по стране. Лучше сидите на даче». Поэтому время для заграничных поездок для меня упущено.

— Вы были очевидцем научного триумфа Прохорова и Басова. Можете рассказать об этом времени: с чего начиналась их работа, как получили Нобелевскую премию?

— Симбиоз двух будущих нобелевских лауреатов отражал глубинную функцию, которая обязательна в исследовательской отрасли. Дельные мысли всегда приходят в одну голову, в две головы они одновременно прийти не могут. Таким первоначальным генератором был, как правило, Николай Басов. Второй же, Александр Михайлович, выступал в качестве оппонента: он все понимал, возражал, и в конце концов они оба приходили к правильному решению. Когда я предложил Александру Михайловичу идею газодинамического лазера и начал ему рассказывать о газовых сверхзвуковых течениях, Прохоров лишь внимательно слушал меня. Судя по всему, это для него было ново. Когда же я встретился с ним на следующий день, выяснилось, что он взял обычные учебники, выучил их за вечер и разговаривал со мной уже как знающий дело оппонент. Такое сочетание в научной деятельности обязательно. Рядом с каждым исследователем должны быть люди, способные аргументированно возразить или что-то поправить в лучшую сторону.

Многие считают, что Басов и Прохоров изобрели лазер. На самом деле не лазер, а принцип работы. Ведь помните, Нобелевская премия была разделена пополам: половина награды — американцу Чарльзу Таунсу (изобретателю лазера, который подтвердил утверждения, выдвинутые советскими учеными, — прим. ред.), другая половина — Прохорову и Басову. Почему так произошло? Откуда появились наши ученые из Советского Союза? У Таунса были

«Изобретенный нами газодинамический лазер может в такой железке проделать дыру за 10 секунд на расстоянии 10 метров от действующего лазера. Мощность излучения составляла 100 кВт/сек. Главный конструктор Александр Дмитриевич Конопатов подарил эту пластину Прохорову. Но Александр Михайлович при следующей нашей встрече просто протянул ее мне и сказал: "Вадим, это ваше". Такое признание я получил от него».



серьезные конкуренты, и он хотел, чтобы в Америке изобретателем инверсной населенности он был один. Поэтому он решил: «Ладно, пополам. Ну, и где-то там, в России...». Для нас сейчас это такие же ученые из какого-нибудь Ирана, о которых мы ничего не знаем. «Ну ладно. Зато я буду в Америке первый. А так как Америка первая, то я по всему миру первый». Такая логика была у Таунса. У нас, конечно, Нобелевскую премию восприняли совсем по-другому.

Когда же началась эра лазеров, Николай Геннадиевич стал заниматься импульсными лазерами, а Александр Михайлович — непрерывными. Они стали существовать, грубо говоря, в параллельных мирах, но отношения между ними не испортились. Во всяком случае, как и раньше, они поздравляли друг друга с днем рождения.

— Как себя ощущали, работая теперь уже с нобелевским лауреатом?

— Понятие «нобелевский лауреат» фактически во многом связано с международным признанием. Вот это признание ощущалось: у Александра Михайловича так же, как у Николая Геннадиевича, стояла так называемая «вертушка». Это телефон прямой связи, который напрямую соединял с нашими руководящими чиновниками. Это позволило наладить жизнь — у нас всегда были деньги на научные исследования, потому что всегда были военные заказы. Кроме того, нас всегда поощряли жильем. А ощущал ли я, что работаю теперь уже с нобелевским лауреатом? Почти нет.

— Чего пожелаете нынешним физтехам?

— Не прекращайте научную деятельность даже тогда, когда вы на отдыхе, когда хочется расслабиться.

Умейте учиться по книгам, статьям, сейчас это делать очень удобно. Я, например, любую книгу начинаю с поиска самого нужного: ввожу в поиске слово, которое, на мой взгляд, отражает смысл интересующей темы, и смотрю, где в книге есть ссылки. Так за один вечер можно просмотреть кучу статей. Раньше же мы начинали с первого абзаца и, дойдя до последнего, уже забывали, что написано в первом.

Воспитывайте в себе способность к интеллектуальному труду. Исходите из предположения, что в интеллектуальных достижениях людей нет того, чего вы не могли бы понять. Речь идет только о времени, которое нужно затратить для того, чтобы выучить что-то определенное, подготовиться, понять.

Не позволяйте посторонним хвалить вас, иначе вы можете попасть в рабство. И если вы в течение дня не услышите похвалы, то все у вас будет валиться из рук, настроение будет отвратительным. Я прошел эту фазу. Мы, молодые научные работники, тогда попали под сильное влияние личности Прохорова и испытывали потребность каждый день видеть его в лаборатории. И его одобрения могли, например, звучать так: «Вадим, опять вы занялись ерундой!» Мы оба почувствовали эту связь, когда позже я стал выходить из-под его влияния. У нас даже отношения несколько натянулись.

Пожалуйста, не занимайтесь так называемым подведением итогов жизни. Если сделать это однажды, то через некоторое время захочется сделать еще раз. Те же самые события и факты невольно будут сложены так, что сделают вас выше и значительнее в ваших собственных глазах. И когда вы оглянетесь на окружающих вас людей, то выяснится, что этого изменения никто не заметил. Они продолжают думать о вас так же, как прежде, и это доставит вам или обиду на людей, или обиду на самого себя.

Займитесь математикой. У математиков значительно глубже представление о смысле простейших понятий, которые потом, оказывается, имеют аналоги в физике. Математики придумывают нужные, логически абсолютно безупречные схемы раньше. А потом физики в своих терминах заново их открывают. Поэтому математика важна с точки зрения идеи и понимания, а не умения дифференцировать, интегрировать, это сейчас благополучно сможет сделать машина. **зн**

Полную версию интервью читайте на сайте zanauka.mipt.ru.

✍ Юлия Болдырева, Анна Дзарахохова

Как я танцую чечетку

Профессор Университета Абердина и НИУ ВШЭ Василий Горбунов преподавал русский язык в Швейцарии, успел побывать американским и шотландским математиком, но вернулся в Россию, чтобы поделиться тут нажитым опытом. Как и почему — он рассказал корреспонденту «ЗН».

— Давайте начнем с вашей биографии. Где учились, где работали, почему уехали, какова ваша карьерная дорога?

— Родился на Волге, в городе Ульяновске. Посмотрев на Москву после 9-го класса неделю, я подумал: сумасшествие! И поехал в Новосибирск. Приехал в Академгородок, и он меня очаровал.

Поступил в 77-м году в университет, который окончил в 82-м. Пошел на стажировку, потом в аспирантуру. Защитил диссертацию в 87-м году. И мне повезло: не было на то никаких оснований, но, тем не менее, так получилось, что я остался в Академгородке.

Меня взяли на работу в Институт математики и в Новосибирский университет —

преподавать на вновь созданной тогда кафедре математики для физиков. Вспоминаю это сейчас, — ну, конечно, было тогда видно, что происходит какое-то качественное изменение в обществе. Тут подвернулась возможность поехать на конференцию в Британию и в Швейцарию — и как-то совершенно не подумав, под влиянием таких же легкомысленных людей я решил, что поеду и, может, навсегда.

Вот, поехал. Было весело месяц, может быть, полтора. А потом я осознал, что я в центре Цюриха сижу на берегу озера, обратный билет просрочен и денег нет. На работу, само собой, никуда не устроился, потому что не думал об этом. Но как-то повезло. Друзья надо-

умили: «Тут, — говорят, — у нас в Цюрихе есть Институт математики. Им руководит такой интересный человек Юрген Мозер, специалист по интегрируемым, динамическим системам». Я к нему пришел. Он говорит: «Зарплату я не могу вам сразу платить. Но стол дам, и в библиотеку можете ходить».

Вот так я устроился. Жил на что? Учил любезную швейцарскую девушку русскому языку, на моем-то английском, который тогда был не очень. Она мне любезно платила 10 франков в неделю. Потом я попал в Британию — вполне официально, как Royal Society Fellow, прожил в Британии полтора года,

сти мосты... то есть, она, конечно, была, но это всегда будут мосты такие... шаткие мосточки. Очень часто, когда вы получаете место работы в таком университете, выбор стоит так: либо вы становитесь как все, либо надо что-то делать, либо уезжать.

Поскольку я всегда ответственно относился к своей работе, я, конечно, там работал 11 лет. Но благо, в мире есть несколько научно-исследовательских институтов, куда приглашают ученых на разные промежутки времени. Один из них сыграл в моей жизни просто решающую роль. Это институт Макса Планка в городе Бонне, Инсти-

тут математики и конкретно его директор — профессор Фриц Хирцебрух.

Итак, меня туда первый раз пригласили, и, видимо, как-то мои исследования оказались успешными. После этого приглашали регулярно. Я, наверное, в общей сложности в Германии провел лет 10. И вот так, в результате научной деятельности, к 2000 году я получил со своими соавторами первый цикл интересных научных результатов по математической теоретической физике, по математической модели теории струн. Эти результаты были достаточно хорошо приняты научным сообществом.

Когда весь этот цикл был опубликован — видимо, это был такой локальный пик моей научной деятельности, — я подал заявку на должность distinguished professor в университет города Абердина в

Мне бы хотелось эти перемены пережить в своей стране и помочь этой стране своим опытом, знаниями

а после друзья помогли уехать в Америку.

После года различных мест, краткосрочных назначений мне повезло: меня позвали в Чикаго, Northwestern University. Сначала на год, а потом продлили еще два раза до трех лет. В 95-м году я неожиданно получил предложение от университета штата Кентукки, я не знал ничего про этот штат, кроме того, что там лошади и скачки, — это казалось тогда просто фантастикой — и согласился, конечно. Принял его и поехал туда.

И когда приехал и проработал там год, я понял — это кризис, это мой личный кризис. Образ жизни был, конечно, абсолютно чужеземный. И никакой возможности наве-



Я просто каждый день знаю, зачем я ложусь спать и зачем просыпаюсь

Шотландии. Получил предложение, в 2006 году принял позицию там, покинул Америку и стал шотландским математиком.

— Но связи с Россией сохранились?

— Я должен сказать, что, конечно, все это время очень хотелось быть востребованным на родине. Я по-хорошему хочу отдать долг. И начиная года с 2014-го, наверное, а, может быть, и раньше — сначала меня пригласили несколько раз в Высшую школу экономики как визитера по имеющимся там грантам. Потом предложили прочитать курс лекций в Ярославле. Это тоже «Вышка» организует для аспирантов со всей России. Потом здесь, на Физтехе — спасибо Илье Ждановскому.

Я уверен, что накопил какой-то нетривиальный опыт, комбинацию

знаний, умение их излагать. Просто хочется этим поделиться на родном языке. Хотя я по-английски говорю неплохо и живу там, поэтому с общением проблем нет. Профессиональная деятельность практически без проблем, социализация, возможно, до хорошей степени, но родным это не станет. А здесь я чувствую себя очень комфортно.

— Даже спустя 30 лет — по-прежнему?

— Абсолютно. Дело в том, что я никогда для себя не формулировал это как «я уехал», я всегда говорил: я работаю за границей, просто так получилось.

— Вы, человек, смотрящий на Россию долгое время со стороны, как считаете, для ученых стало привлекательней быть в нашей стране, или нет?

— Во-первых, я думаю, что решающим фактором был развал Советского Союза. Это сравнимо с войной, как я сейчас понимаю. И говорить о российской науке нужно именно в этом аспекте. Она начала не то что с нуля, а с минуса. Вы представляете, какое количество одареннейших людей, подготовленных в Советском Союзе, покинуло страну?

Но я вижу достаточно явственно, что от этого удара удалось оправиться. Жизнь действительно изменилась: компьютеры, роботы и все прочее поменяли жизнь до неузнаваемости, а это значит, должно поменяться образование. Но как оно должно поменяться, непонятно, поэтому сейчас идет активный эксперимент, порой достаточно жестокий: теряется драгоценное, накопленное десятилетиями, в угоду сиюминутной прибыли. Наверняка этот эксперимент будет происходить и в России. Но мне нравится отношение к происходящему людей, которые здесь пытаются что-то сделать. Меня это по-хорошему восхищает. Это просто действительно красивые люди.

Перемены произойдут везде. Если будет возможность, мне бы хотелось эти перемены пережить в своей стране и помочь этой стране своим опытом, знаниями.

— В плане исследований есть какие-то научные задачи, которые вы хотите решить здесь с коллегами?

— Деятельность последних лет десяти связана со статистической физикой, которая, конечно, завязана на моих знаниях как чистого математика — геометрия, топология и так далее. И в России я нашел группу людей, которая этим занимается именно в том ключе, в котором мне интересно. Мы собираемся продолжать, и вот это мои ближайшие научные планы. Это перевернуло мою жизнь в очень положительном ключе. Я просто каждый день знаю, зачем я ложусь спать и зачем просыпаюсь. Это очень здорово.

— Каких студентов вы ждете?

— Мир изменился. Понятие образования изменилось. Все изменилось. Это не значит, что студенты поменялись. Студенты по-прежнему умные, мотивированные. Но учить их нужно по-другому. И тут я позволю себе сказать честно: это дело молодых. А я бы хотел таких студентов, каким был я. И такие есть в России, их учили в том ключе, в каком учили меня.

Наша цель — не передать то, что мы знаем, студентам, а подготовить их к жизни в современном обществе. Если общество требует людей со способностью быстро разобраться в огромном количестве непонятого, принять решение, — ну, так и надо делать. Мы слуги, в конце концов. Конечно, можно настаивать, что то, как я танцую чечетку, — это единственно правильный способ. Но они танцуют свою чечетку, свои песни поют, очень отличные от наших. Это вы лучше меня знаете. **ЭН**

Полную версию интервью читайте на сайте zapauku.mipt.ru.

АЛИТА

В СТРАНЕ КИБЕРЧУДЕС

✍ Фёдор Майборода

Фильм «Алита: Боевой ангел» (2019 г.), снятый режиссером Робертом Родригесом и основанный на популярной японской манге, не только демонстрирует, насколько кинематограф продвинулся в создании спецэффектов и компьютерной графики, но и затрагивает несколько сложных и интересных с научной точки зрения проблем. В фильме чуть ли не все персонажи — киборги с искусственными конечностями или даже целыми телами. Вместе с нашими экспертами Василием Коноваловым из лаборатории нейронных сетей и глубокого обучения МФТИ и Андреем Новиковым из лаборатории нейроробототехники МФТИ разбираемся, чем киборги отличаются от роботов и насколько мы близки к эпохе тотального трансгуманизма.

ЕДЯТ ЛИ КИБОРГИ?

В кино: Главная героиня и вообще добрая половина персонажей — полные киборги. Их тела созданы искусственно и управляются единственным биологическим органом — мозгом. Они двигаются, как люди, обладают осязанием, умеют перерабатывать пищу, а питательные вещества и кислород подаются прямо в мозг.

В жизни: Искусственные конечности разрабатываются в основном в медицинских целях — в качестве протезов. Существуют даже модели серийного производства, которые доступны в продаже. Управление такими конечностями осуществляется с помощью биосигналов мышц или мозга человека. Для снятия этих сигналов используются электроды, которые крепятся на кожу к пучкам мышц.

Существует также возможность имплантировать электроды в периферические нервы или прямо в мозг человека. Это позволило бы получать обратную связь от датчиков бионического протеза к центральной нервной системе, давая, таким образом, владельцам протезов чувствительность к прикосновению и температуре.

Что касается переваривания пищи, сегодня существует технология создания искусственного желудочно-кишечного тракта. Он представляет собой несколько резервуаров, в которых поддерживаются необходимая кислотность и состав микрофлоры. Смесь пищи перемещается между ними, как по реальному ЖКТ, проходя разные стадии переработки, аналогичные тем, что происходят в человеческих органах. Пока технология используется только в исследовательских целях, чтобы можно было изучить деятельность этих органов в различных условиях, не проводя вскрытие живых организмов.





НЕ ТОЛЬКО РУКИ

В кино: Некоторые искусственные части тела у персонажей фильма совершенно не похожи на стандартные человеческие. Например, в одной сцене появляется музыкант, у которого левая рука разделена на две части, чтобы он мог одновременно зажимать струны на нескольких грифах футуристического струнного инструмента, а игроки в моторбол (вымышленный вид спорта, напоминающий одновременно баскетбол, американский футбол и гонки с препятствиями) на время матча заменяют ноги на реактивные роликовые коньки.

В жизни: Задача создания нейроинтерфейса необязательно требует, чтобы управляемый объект был похож на человеческую конечность. Получая сигнал от мышц, он может отправлять его не только к пальцам или кисти, но и вообще к любым устройствам. Например, компания Neurobotics, возникшая на базе лаборатории нейроробототехники МФТИ, создала неинвазивный нейроинтерфейс на основе ЭЭГ, который может подавать от одной до восьми дискретных команд. Команды можно комбинировать и заставлять устройства выполнять различные сложные действия. Человеческий мозг имеет огромные возможности к адаптации и обучению, например, благодаря нейропластичности он может менять свою структуру и создавать новые связи, что упрощает работу с нейроинтерфейсами.

ТРЕНИРУЕМ КИБЕРМЫШЦЫ

В кино: Искусственное тело на основе «утраченных технологий», присоединенное к голове персонажа, самостоятельно адаптируется под работу его мозга.

В жизни: Искусственный интеллект и машинное обучение — действительно перспективный способ научить нейроинтерфейс воспринимать сигналы и правильно передавать их в искусственные конечности. Дело в том, что электроды снимают очень большой объем информации, который надо обработать и выделить те сигналы, которые должны двигать протез. Поэтому каждый нейроинтерфейс приходится настраивать индивидуально. Одна из подгрупп швейцарского проекта по созданию симуляции человеческого мозга Blue Brain занимается тем, что снимает показания датчиков и обучает модели на основе нейронных сетей, которые классифицируют, на какую конечность направлен сигнал, в какую сторону будет двигаться рука, с какой амплитудой. После тренировки модели нейроинтерфейс, получив сигнал от человека, который, например, решил поднять руку, определяет, что сигнал есть в библиотеке, и отправляет команду руке.

ОТДЕЛЯЯ ГОЛОВУ

В кино: У полных киборгов активность мозга поддерживается с помощью технологий, перекачивающих через него кровь. В одном моменте фильма (СПОЙЛЕР) голову человека, отделенную от тела, подключают к системе кровообращения киборга, чтобы мозг не умер, пока его не присоединят к искусственному телу.

В жизни: Ученые из Йельского университета провели эксперименты по сохранению мозга свиней со скотобойни. Им удалось сохранить активность клеток в течение 36 часов. Технология была похожа на показанную в фильме — через мозг прокачивалась перфузионная жидкость, доставляющая кислород. Эта же технология применяется для сохранения, например, почек. Тем не менее, несмотря на то, что клетки мозга во многих отделах оставались живыми, электрических сигналов в органе обнаружить не удалось.



ЗА НАУКУ ≥ ФОТОХРОНИКА

Что еще происходило в МФТИ, смотрите в нашем фоторепортаже.



📍 Вопрос по выбору на Государственном экзамене по физике

📍 Региональный этап Всероссийской олимпиады школьников по физике

Презентация отечественного беспилотного автомобиля НКБ вычислительных систем Таганрога в кампусе Физтеха ➡



Постерная сессия в рамках всероссийской студенческой олимпиады «Я – профессионал» ➡



📍 Зимний День открытых дверей. Источник: vk.com/abitunet



📍 Награждение сотрудников МФТИ почетными званиями на традиционном собрании ППС



Участники международной образовательно-просветительской акции «Открытая лабораторная». Фотограф Никита Веремьев ➡



📍 Экскурсия по лабораториям Физтеха в рамках акции «Открытая лабораторная». Фотограф Никита Веремьев



📍 Олимпиада по русскому языку среди иностранных студентов Физтеха





June 9-11, 2019,
Moscow

Russian Workshop on Complexity and Model Theory

The aim of the workshop is to bring together specialists in computational complexity, communication complexity, formal languages, descriptive complexity, cryptography, and other related fields. The Moscow Institute of Physics and Technology, and particularly the Phystech School of Applied Mathematics and Informatics, will become the platform for the discussion.

Registration: online.mittech.ru/rwcm2019

The workshop will feature a number of contributed talks. You are welcome to register and submit a talk abstract before **May 1, 2019**.

More information: clck.ru/FSr79

ФПМИ

МИПТ

Yandex

**Химия сама создает свой
объект. Эта творческая
способность, сходная
с творческой силой
искусства, существенным
образом отличает
ее от естественных
и исторических наук**

Марселен Бертло